

Т. С. Чибрик, Ю. А. Елькин

ФОРМИРОВАНИЕ
ФИТОЦЕНОЗОВ
НА НАРУШЕННЫХ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЛЯХ
(БИОЛОГИЧЕСКАЯ
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ)

Свердловск
Издательство Уральского университета
1991

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А.

Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью земель: (биологическая рекультивация). — Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991 — 220 с.

ISBN 5—7525—0118—0

Приведены результаты 25-летних исследований на 30 месторождениях полезных ископаемых. Рассматриваются фитоценозы, сформировавшиеся в процессе самозарастания (естественные фитоценозы) и при биологической рекультивации (культурфитоценозы). Отмечается перспективность применения многомерных математических методов для прогнозирования их состояния. На примере биологической рекультивации отвалов угольных месторождений показано место формирующихся сообществ в общей структуре растительного покрова региона.

Для ботаников, экологов и специалистов по биологической рекультивации.

Ил. 42. Табл. 59. Библиогр.: 303 назв.

Рецензенты:

**Лаборатория функциональной биогеоценологии
Института экологии растений и животных УрО АН СССР;
доктор биологических наук Л. Ф. Семериков**

Редактор С. Г. Галинова

Ч $\frac{1903040000-46}{182(02)-91}$

ISBN 5—7525—0118—0

© Т. С. Чибрик, Ю. А. Елькин, 1991.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение

4

Глава 1

Методологические основы изучения
фитоценозов техногенных ландшафтов

6

Глава 2

Естественные фитоценозы техногенных ландшафтов

44

2.1. Флористический состав сообществ

44

2.2. Формирование и динамика фитоценозов

79

2.3. Связь растительности и среды
при биологической рекультивации

115

Глава 3

Биологическая рекультивация
техногенных ландшафтов Урала

175

Заключение

193

Литература

196

Приложение

209

ВВЕДЕНИЕ

Рекультивация нарушенных промышленностью земель рассматривается в настоящее время как самостоятельный вид деятельности и включается отдельно в план развития народного хозяйства страны. Этому предшествовали определенные достижения. За последние 15 лет рекультивировано около 1,4 млн га, в том числе около 900 тыс. га под сельхозугодья (Овчинников, 1985). Отмечен высокий экономический эффект этих работ, который составил 65 млн р. (10,4 млн р.—среднегодовой). Велики и затраты на рекультивацию. Создание 1 га сельхозугодий на нарушенных промышленностью землях обходится в среднем около 5 тыс. р.

Народнохозяйственным планом на 12-ю пятилетку предусмотрено рекультивировать 660 тыс. га. Но рекультивация предполагает не только увеличение площади сельскохозяйственных и лесных угодий за счет нарушенных земель (это уже само по себе чрезвычайно важно). Она включает «комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды» (ГОСТ 17.5.1.01—78). Благодаря усилиям многих ученых (Колесников, Моторина, 1974; Колесников, Пикалова, 1974; Моторина, 1972, 1978, 1984; Овчинников, 1970, 1973; Пикалова, 1978; Красавин, Чибрик, 1982; Чибрик, Красавин, 1981; и др.) стала ясной необходимость комплексного ландшафтно-экологического подхода к решению проблемы рекультивации. В настоящее время практически не вызывает сомнения, что рекультивационные мероприятия должны быть направлены не только на воспроизводство, но и на улучшение, а при возможности — и на новое моделирование всего нарушенного природно-территориального комплекса. Важная роль отводится биологической рекультивации. Это чрезвычайно трудная задача, так как требует учета всего многообразия природных связей и перспектив их развития, включая потребности общества не только в ближайшее время, но и в будущем. Успешное практическое решение этой задачи требует глубокого научного обоснования.

Проводимые в этом направлении исследования сформировались в междисциплинарную отрасль научных знаний, что отвечает

практическим потребностям, но затрудняет создание теоретических основ биологической рекультивации.

Изучение проблем рекультивации на Урале имеет характерные особенности. Это старый горнопромышленный регион, где разработки ведутся более 50 (а иногда и 100) лет. На давно нарушенных землях наблюдается процесс естественного восстановления биогеоценозов (самозаращение). Только в Свердловской области различными отраслями промышленности нарушено свыше 65 тыс. га земель. Подавляющее большинство горнодобывающих предприятий не имеет запаса почвы и потенциально плодородных пород для улучшения свойств субстрата при биологической рекультивации. В связи с этим на Урале постоянно большое место занимали работы по изучению формирования фитоценозов на нарушенных промышленностью землях.

При самозаращении изучение формирующихся фитоценозов позволяет оценить сложившиеся сообщества с точки зрения их места и роли в растительном покрове региона и прогнозировать их дальнейшее развитие. Это тем более важно, что при сокращении площади пашни на душу населения катастрофически растут площади нарушенных земель. Возможна такая ситуация, когда большая часть территории региона будет нарушена, и мы будем иметь дело лишь с биогеоценозами, возникшими при самозаращении или биологической рекультивации. Уже в настоящее время с подобными явлениями сталкиваются в отдельных регионах — ГДР, ФРГ, ЧССР и других промышленно развитых странах.

Биологическая рекультивация предусматривает в конечном счете создание устойчивых, продуктивных, хозяйственно и социально ценных биогеоценозов. Успех ее зависит от возможно полного и правильного учета экологических условий. Такой учет и в более однотипных условиях является очень трудоемким процессом, да и не всегда достигает нужных целей. На нарушенных промышленностью землях, кроме большого разнообразия и сильного варьирования отдельных факторов, мы имеем дело с самыми невероятными с точки зрения обычных природных условий комплексами. Точный и полный учет этих комплексов становится практически невозможным. Поэтому на пространствах, где наблюдается самозаращение, в качестве интегрального диагностического показателя степени пригодности территорий для биологической рекультивации используется фитоценоз как наиболее доступный для изучения и информативный компонент формирующихся биогеоценозов.

На Урале в течение 25 лет изучались фитоценозы, сформировавшиеся в процессе самозаращения и возникшие при биологической рекультивации (культурфитоценозы) на нарушенных землях 35 различных месторождений полезных ископаемых (площадью свыше 25 тыс. га). Анализ полученного фактического материала проведен на ЭВМ с использованием различных методов тематического моделирования.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

В настоящее время накоплен значительный фактический материал по формированию почвенного и растительного покровов на промышленных отвалах без вмешательства человека. Особенно много внимания уделяется этим вопросам в старых промышленно развитых районах, где добыча и переработка полезных ископаемых ведутся давно, по крайней мере, свыше 50 лет. К таким районам относится и Урал. Его отличительной особенностью является наличие больших площадей чрезвычайно разнородных и разновозрастных отвалов. Здесь, как нигде, важно изучение самозарастания отвалов и тесно связанного с ним процесса почвообразования. Этим вопросам посвящена целая серия работ сотрудников биологического факультета Уральского университета. Часть исследований касается угольных месторождений Урала (Тарчевский, Чибрик, 1968, 1969, 1970 а, б; Махонина, Чибрик, 1974 а, б; 1978 а, б; Колесников и др., 1976; Чибрик, 1979 а, б; и др.).

Изучение формирования фитоценозов в связи с разработкой способов биологической рекультивации нарушенных земель на угольных месторождениях Урала продолжалось и в последующие годы, но основное внимание было уделено не отвалам, а карьерным выемкам. В качестве эталонного объекта взят Коркинский угольный разрез.

При изучении фитоценозов на отвалах использовались, в основном, общепринятые методики (Корчагин, 1964; Понятовская, 1964; Скарлыгина-Уфимцева, 1968). Био- и экоморфологическая характеристика видов дана по литературным данным (Раменский и др., 1956; Левина, 1957; Куминова, 1960; Борисова и др., 1961; Быков, 1960—1965; Серебряков, 1964; Шенников, 1964; Цыганов, 1983; и др.) с учетом личных наблюдений. Названия растений даны согласно сводке С. К. Черепанова (1981).

Однако при работе с фитоценозами техногенных объектов имеется ряд особенностей. Прежде всего это связано с большим разнообразием и пространственной гетерогенностью экотопов, особенно эдафотопов. Нарушенные промышленностью земли резко отличаются по характеру рельефа, морфологическим параметрам, таким, как площадь, высота или глубина и т. д. (Трофимов, Овчинников, 1970;

ГОСТ 17.5.1.02—85; и др.). Чрезвычайно разнообразны состав и свойства пород (субстратов), слагающих отвалы. Зачастую формирование фитоценозов идет на породах разного геологического возраста, извлеченных с больших глубин (до 500 м). Естественно, что они различны по своим водно-физическим и агрохимическим свойствам, а их характеристикам посвящена обширная литература.

Большое разнообразие промышленных отвалов требует их классификации. Попытки классификации отвалов по способу образования, морфологическим параметрам, литологическим и агрохимическим свойствам грунтов, т. е. по отдельным (2—3) признакам приняты многими авторами (Hall, 1957; Adamovicz et al., 1963; Тарчевский, 1964 а, 1967, 1970 а, б). Позднее разработаны схемы классификаций природно-техногенных ландшафтов (Моторина, Овчинников, 1975; Моторина и др., 1978; Федотов, 1978, 1985; и др.). Предложено несколько классификаций слагающих отвалы пород по степени их пригодности для биологической рекультивации (Knabe, 1959; Styš, 1966; Limstrom, 1960; Овчинников, 1966; Чекина, Савич, 1967; Горбунов, 1969, 1970; Горбунов и др., 1971; Денисов, Красавин, 1969; и др.). Разработана классификация форм техногенного рельефа (Трофимов, Овчинников, 1970).

В работах Б. П. Колесникова и Г. М. Пикаловой (1973, 1974) дана обобщенная схема построения естественной классификации промышленных отвалов, которые разделены на две крупные категории (семейства): А — отвалы, сложенные минеральными грунтами; Б — отвалы, сложенные субстратами, насыщенными органическим веществом. Авторами разработана схема классификации отвалов семейства А (рис. 1).

Семейство отвалов А. Отвалы, образованные минеральными грунтами

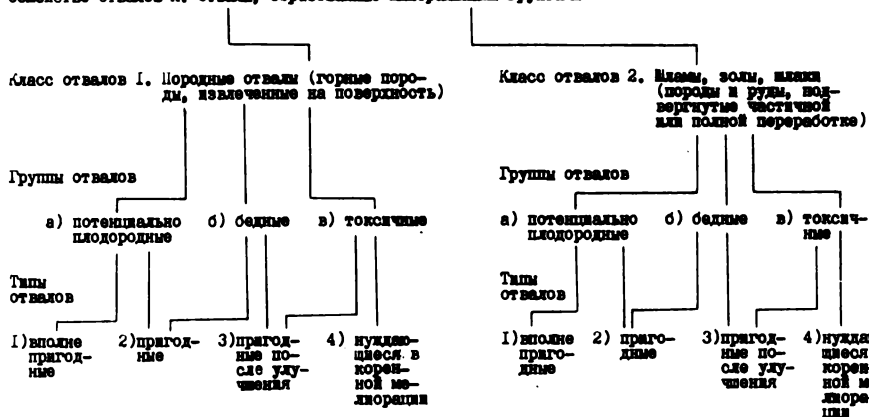


Рис. 1. Схема классификации отвалов по Б. П. Колесникову (Колесников, Пикалова, 1974)

В нашей работе основное внимание уделено анализу фитоценозов, возникших в процессе самозаращания, и культурфитоценозов, созданных при биологической рекультивации, на отвалах, образованных минеральными грунтами (семейство А). Это отвалы преимущественно добывающей промышленности, возникшие при добыче угля, железной руды, огнеупорных глин, формовочных песков, известняков, никелевых руд и других полезных ископаемых. Сложены они из малопригодных для биологической рекультивации (ГОСТ 17.5.1.03—86), с примесью пригодных потенциально плодородных (но без почвы) и непригодных по физическим и химическим свойствам (фитотоксичных), пород. Согласно названной классификации они относятся к классу 1, группе б, типам 2 и 3. В лесной и лесостепной зонах изучены фитоценозы золоотвалов Верхне-Тагильской и Южно-Уральской ГРЭС (класс 2, типы 2 и 3).

Таким образом, общей чертой всех техногенных объектов, взятых для анализа формирования фитоценозов, является первичный тип сукцессии. Эта группа объектов наиболее интересна, так как на благоприятных в эдафическом плане отвалах, сложенных потенциально плодородными породами с примесью почвы, формирование фитоценозов будет идти по схемам, близким к восстановительной сукцессии, а на отвалах типа 4, нуждающихся в коренной мелиорации, эдафотоп формируется заново или претерпевает принципиальные изменения. Как в том, так и в другом случае его нужно качественно довести до уровня одного из первых трех типов (см. рис. 1).

Поскольку решались практические задачи, то по возможности выдерживался принцип комплексности. Центральное место в исследованиях занимал фитоценоз, но так же подробно изучались экологические (особенно эдафические) условия. В качестве примера можно привести программу комплексного исследования Коркинского угольного разреза (Чибрик, Красавин, 1981; Красавин, Чибрик, 1982), где подчеркнуто большое значение всестороннего изучения разреза как определенного типа техногенного образования и своеобразного экотопа, а также естественно сформировавшихся биогеоценозов и их динамики. Изыскание возможных способов и средств биологической рекультивации поверхности выработанного пространства разреза проводилось при закладке опытных стационаров.

Речь идет о конкретной программе, поэтому естественно, что она отражала реальные возможности научного коллектива (принципы подхода, наличие специалистов, возможный объем и др.). Блок-схема показателей, характеризующих фитоценозы (рис. 2), подтверждает, что они рассматриваются в органической связи с условиями среды. Наиболее регулируемы, во многих случаях и лимитирующими, являются эдафические условия. Регуляция их осуществляется путем целенаправленного улучшения свойств суб-

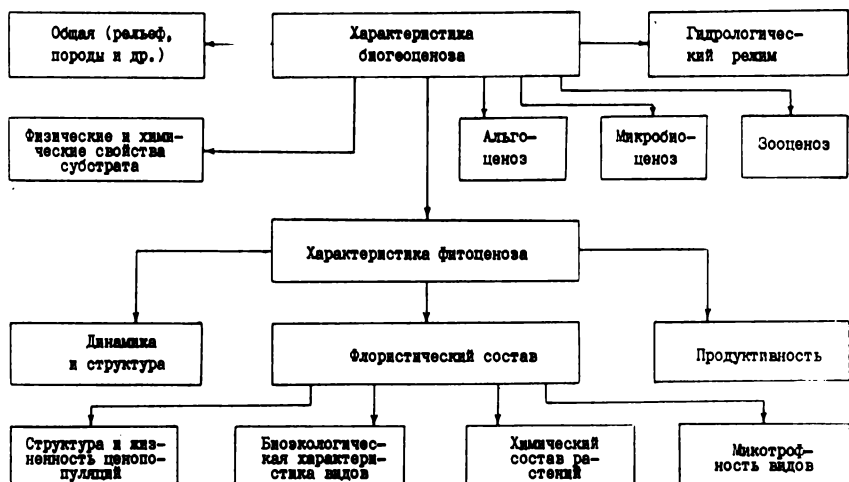


Рис. 2. Блок-схема программы по изучению фитоценозов техногенных ландшафтов. Поэтому большое внимание при исследованиях по биологической рекультивации традиционно уделяется характеристике этих свойств, особенно реакции среды и засолению.

Фитоценоз рассматривается нами как интегральный показатель пригодности нарушенных промышленностью земель для биологической рекультивации, а при естественном восстановлении почвенного и растительного покровов (процесс самозарастания) — как наиболее доступный для изучения и информативный компонент биогеоценозов для оценки степени их сформированности, экологической и хозяйственной ценности, прогноза их развития и др. Поэтому кроме общей характеристики фитоценозов, выявления их видового состава и определения продуктивности подробно анализировалась биоэкологическая характеристика видов (по литературным данным и личным наблюдениям) и определялась концентрация микроэлементов.

В естественнонаучном исследовании действуют два взаимосвязанных процесса: сбор фактического материала и его обработка и анализ с нахождением «существенных» черт объекта или разработкой характеристик, опирающихся на эти подходящим образом выбранные и абстрагированные черты и свойства. Иначе говоря, при исследовании необходимо дать модель, более или менее полно отражающую изучаемый объект или процесс через «существенные» свойства. Простейшей моделью биологических объектов (процессов) является описательная. Введение в такую модель количественных показателей, символов и т. п. позволяет ее формализовать, т. е. перевести на язык математики.

В данной работе использовались методы многомерного математического анализа: метод главных компонент, факторный, дискриминантный анализ и методы теории графов. Особое внимание уделялось выявлению области их применения при исследованиях по биологической рекультивации (Чибрик, Елькин, 1989 а, б).

Любое геоботаническое исследование обычно включает описание растительности и характеристику факторов среды. В зависимости от поставленных задач отбирается некоторая группа разнородных объектов или вариантов. Объектами могут быть фитоценозы, характеризующиеся флористическим списком, отдельные растения и т. д. Каждый объект состоит из элементов с их количественными и качественными показателями. Виды в флористических списках могут характеризоваться присутствием (отсутствием), баллом обилия, отдельные растения — морфологическими признаками и количественными измерениями, данные почвенных профилей — составом химических элементов и их процентным содержанием и т. д. Все выбранные варианты, как говорит Л. Г. Раменский (1929), заполняют некоторый объем, или «поле условий». При изучении растительности «поле условий» — это множество действующих факторов, таких, как увлажнение, засоленность, кислотность и т. д., а также, в нашем случае, определенность территории, точный возраст участков, а следовательно, и формирующихся фитоценозов и т. п.

Указание комплекса условий при эксперименте является одним из основных естественнонаучных принципов. Оно необходимо для проверки правильности и устойчивости установленных закономерностей. Например, закон Ома выполняется при нормальной комнатной температуре с небольшими погрешностями и не выполняется при температурах, близких к абсолютному нулю при эффекте сверхпроводимости. Иногда при выполнении комплекса условий некоторые явления или события могут происходить или не происходить, такие события принято называть случайными.

Цель любой науки, в том числе и геоботаники, — давать прогнозы, «научно обоснованные суждения о возможных состояниях объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их осуществления» (Рабочая книга по прогнозированию, 1982). Прогнозы являются конечным продуктом методов моделирования. Прогностическая роль математических методов в применении к ботаническим объектам подчеркивалась В. М. Шмидтом (1980).

Система количественных и качественных параметров — это огрубленное описание исследуемого объекта, характеризующее его с определенной точностью. При этом неизменно встает вопрос о проверке степени соответствия полученной описательной модели реальному объекту. Точность, чистота исходных данных зависят от контролируемых условий эксперимента, научной чистотности и компетентности исследователя, а не получаются из каких-то тео-

рий, в том числе и математических. Закономерность, прогноз характеристик тогда будут иметь научную основу, когда они могут быть воспроизведены многократно и результаты попадают в заранее оговоренные интервалы. В естественных науках прогноз означает уверенность в хорошей будущей воспроизводимости полученных результатов. Весь опыт естествознания учит видеть в повторении испытаний необходимое, хотя и не абсолютное противоядие против случайных ошибок, от которых не застрахован даже самый опытный и добросовестный экспериментатор, а также против грубых промахов и подтасовок. Многократная воспроизводимость исходных изучаемых параметров, т. е. прогноз типа «как много раз подряд было, так и будет», является эвристическим, логически ни из чего не выводимым утверждением, однако более надежных способов проверки исходных результатов, чем многократное повторение испытаний, наука не знает. Естественные науки отнюдь не претендуют на непогрешимость (Алимов, 1984).

Изучение случайных явлений, событий в геоботанических исследованиях также связывается с определенным комплексом условий. Приписывать вероятность случайному событию можно только тогда, когда указан класс допустимых способов формирования серий испытаний (выборки). Указание этого класса следует включать в комплекс условий (Колмогоров, 1956).

Считается, что «выбор типичных мест для взятия образцов безусловно противоречит количественному подходу» (Грейг-Смит, 1967; Василевич, 1969). Но это в корне неверно! При любом выборочном методе изучения чаще всего невозможно охватить все поле условий изучаемых объектов. В этом смысле выбор типичных участков, систематический отбор образцов наиболее приемлем для изучения геоботанических объектов. Он обеспечивает максимально возможную стабильность условий. При систематическом отборе можно исключить те нехарактерные, резко отличающиеся от общего фона относительно небольшие по площади местообитания растений: дороги, каменистые выходы, впадины и т. д. и характеристики субстрата. Случайный отбор не соответствует принципу как воспроизводимости и, следовательно, многократной проверки, так и однородности серий пробных площадок для измерения статистических показателей. Тем более, «что способ типического (направленного) отбора при составлении выборок дает в определенных условиях лучшие результаты, чем отбор случайный» (Шмидт, 1980). Но и при направленном отборе нужна повторность. «Даже при полной однородности условий местообитания количественный анализ растительности малых площадок дает результаты в значительной мере случайные, резко и неправильно колеблющиеся от площадки к площадке» (Раменский, 1971). Это вызвано действием множества факторов, конкуренцией, присутствием паразитов и т. д. Случайность проявляется при однородном комплексе условий, и при внесении до-

полнительных помех необоснованным расширением условий эксперимента ведет к искажению получаемых результатов.

Исходные данные геоботанического исследования являются уже простейшей моделью: словесной, графической, числовой в виде таблиц измерений отдельных параметров, т. е. «это уже абстрактное описание того или иного явления реального мира, позволяющее делать предсказание относительно этого явления» (Одум, 1975). Раз результаты измерений определенных величин представляют собой модель, которой присуща прогностическая функция, следовательно, их доброкачественность необходимо как-то проверять. Результат прогноза $S \rightarrow X$, где S — комплекс условий, X — количественные показатели опытов, необходимо верифицировать повторными экспериментами, показать воспроизводимость и устойчивость его при данных условиях. Исходные данные служат «засыпкой» в «жернова» будущих математических моделей. «Нет твердых правил или критериев, которые определяли бы действия, необходимое при построении математической модели» (Одум, 1975). Как исходные значения, так и будущую математическую модель исследователь вынужден выбирать под свою ответственность, за результаты этого выбора математика не может отвечать в принципе.

Математическое моделирование позволяет в доказательной и корректной форме выразить интересующие исследователя результаты при решении поставленных задач, которые часто не могут быть получены или их получение связано с очень большими материальными или временными затратами путем прямого эксперимента. Исходные эмпирические данные можно описывать математическим языком при соблюдении допущений и ограничений. Такое описание в виде уравнений, графов, функций и называется математическим моделированием. В конечном итоге математическое моделирование заключается в отыскании «функциональных» зависимостей между исходными величинами X и интересующими исследователя величинами Y . В операторной форме это записывается так: $Y = F(X)$. Понятно, что исходные данные могут быть связаны с конечными числовыми характеристиками (выходом модели) не одним оператором, а последовательностью операторов:

$$Y_1 = F_1(X), Y_2 = F_2(Y_1), \dots, Y = F_n(Y_{n-1}).$$

Переводя с помощью математической символики исходную описательную модель или биологические представления об объекте в ряд математических зависимостей и выражений, мы на выходе получаем прогноз. «Не будь этой способности предсказывать результаты изменений одного или более элементов связей, мы не могли бы считать эти выражения научной, а не просто метафизической или литературной записью» (Джефферс, 1981).

Для полного и ясного понимания математических моделей, использованных в данной работе, необходимы некоторые основные

сведения и определения из математики. Исходный материал при геоботаническом описании объекта представляется в виде таблицы. Строками ее являются виды с показателями обилия, проективного покрытия, встречаемости, класса постоянства и др., а столбцами (колонками) — сообщества, которые виды характеризуют. В математике такие прямоугольные таблицы называют матрицами и обозначают большими латинскими буквами. Матрица из m строк и n столбцов имеет размерность $m \times n$. Местоположение любого числа (параметра) в матрице A обозначается a_{ij} , где i — номер строки, а j — номер столбца. Если количество строк и столбцов одинаково, то такая матрица называется квадратной. Хорошо известные корреляционные матрицы являются квадратными. Как и с любыми математическими символами, с матрицами можно проделывать операции сложения, умножения. Но в матричной алгебре имеется и ряд специальных операций, таких как операция транспонирования, когда строки и столбцы меняются местами. Такая вновь полученная матрица обозначается A' , обратная матрица обозначается как A^{-1} . Частным случаем является матрица с одной строкой или одним столбцом. Такую матрицу порядка $n \times 1$ или $1 \times n$ называют n -мерным вектором.

Квадратные матрицы обладают рядом важных свойств. Любой квадратной матрице можно поставить в соответствие некоторое значение, вычисленное по определенному правилу по элементам этой матрицы, которое называется определителем, или детерминантом. У квадратной матрицы существуют собственные числа и собственные векторы, удовлетворяющие равенству

$$A \cdot \bar{V} = \lambda \cdot \bar{V},$$

где A — исходная матрица, например, корреляционная; V — вектор; λ — скаляр. Собственные числа и собственные векторы играют важную роль при использовании многомерных методов, таких как факторный анализ, метод главных компонент и др. Более подробно с методами матричной алгебры можно ознакомиться в работах Ф. Р. Гантмахера (1967), Р. Беллмана (1969).

Одно из основных понятий, используемых в математическом моделировании — понятие множества, которое определяется как совокупность тех или иных объектов, обладающих некоторым общим свойством или признаком. Понятие множества относится к исходным неопределяемым понятиям теории. Объекты, входящие в множество, называются его элементами. При обозначении множества через перечисление его элементов используют фигурные скобки. Так, множество M , состоящее из элементов $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$, обозначается как $M = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ или $M = \{a_i\}$, где i меняется от 1 до m , или $i = \overline{1, m}$. На множествах определяется ряд операций, таких как объединение, пересечение и т. д.

Через понятие множества можно определить в строгой матема-

тической форме смысл понятий сходства, различия, графа, играющих важную роль в применении математического моделирования. Рассмотрим множества M_1 и M_2 . Пусть элемент a принадлежит M_1 , а элемент b — M_2 . Множество упорядоченных пар (a, b) определяет прямое (декартово) произведение $M_1 \times M_2$. Любое подмножество этого произведения называется бинарным отношением, или графом. Граф можно определить и геометрически — как множество точек на плоскости, соединенных отрезками. Точки называются вершинами, а отрезки, соединяющие их — ребрами (Берж, 1962). Частным случаем графа является древовидный граф, или «дерево». Понятие «дерева» как математического объекта было впервые предложено Кирхгофом (1847) и приблизительно через 10 лет «перезнаменено» Келли, который получил большую часть первых результатов по исследованию свойств «деревьев». Такого рода графы часто изображают в виде дендрограмм, но в математическом смысле эти два понятия эквивалентны (Дюран, Оделл, 1977).

Кроме графов существует матричный способ представления бинарных отношений. Любая матрица есть бинарное отношение, которое совпадает с декартовым произведением. Если задаться каким-либо пороговым значением α , то приравнивая к нулю значения меньше и оставляя значения больше этого порога, мы получим правило формирования бинарных отношений из прямого произведения. Хорошо всем знакомая матрица корреляций является прямым произведением множества признаков. Задаваясь определенным порогом α для значений коэффициентов корреляции, мы получаем бинарное отношение, или граф, который является плеядой Терентьева (Терентьев, Ростова, 1977).

Таким образом, для описания внутренней структуры корреляционной матрицы получаем конечное множество графов. Естественно, встает вопрос о выборе лучшего графа. Можно остановиться на древовидном графе с максимальной длиной ребер, который строится по данной корреляционной матрице однозначно. Но дендрит использует малую часть коэффициентов, и это ведет к большой потере информации. Кроме того, мы имеем дело с зашумленными объектами. Поэтому построенный дендрит фактически является одним из возможных случайных дендритов, которые могут быть получены при колебании величин коэффициентов корреляции в пределах ошибки, как это отмечено В. И. Василевичем (1969). Второй путь — комбинация метода дендрита с методом корреляционных плеяд — предложен В. М. Шмидтом (1980, 1984). На языке теории графов второй способ есть не что иное, как построение графа с циклами на данном произведении множества (матрице корреляций).

На бинарных отношениях как математических объектах определяется ряд операций — объединение, пересечение, композиция и т. д. В результате этих операций получают новые бинарные отношения. Определив какие-то объекты, математика продолжает

конструировать на их основе новые, которые сложно получить другим способом. Это основной принцип (задача) всех разделов математики, в том числе и теории вероятностей.

Бинарные отношения имеют ряд интересных свойств, которые формализуют понятия реального мира и связывают их с идеальными понятиями математики, например, сходство каких-то объектов определяется следующим образом: отношение R на множестве M называется отношением сходства; если подмножество упорядоченных пар (a, a) принадлежит $M \times M$ (прямое произведение) и если пары (a, b) принадлежат $M \times M$, то и пары (b, a) принадлежат тоже прямому произведению множества M . Первое свойство называется рефлексивностью; смысл его в том, что каждый объект похож на себя. Второе свойство называется симметричностью; суть его в том, что если объект похож на другой объект, то верно и наоборот. Но если второй объект похож на третий, то не обязательно первый похож на третий. Так с помощью бинарных отношений формализуется понятие сходства, часто употребляемое в геоботанических исследованиях.

Количественно отношение сходства между изучаемыми множествами выражают через функцию сходства, которая удовлетворяет ряду определений. Исходные данные описываются таблицей или матрицей, каждый столбец и строка которой называются вектором. Тогда функцией сходства на исходной матрице называется вещественная функция F , которая ставит в соответствие каждой паре столбцов (строк) матрицы определенное число из отрезка $[0,1]$ и удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) $0 \leq F(M_i, M_j) < 1$ для $M_i \neq M_j$, где M_i, M_j — столбцы (строки) исходной матрицы;
- 2) $F(M_i, M_i) = 1$;
- 3) $F(M_i, M_j) = F(M_j, M_i)$.

Пары значений функции сходства записывают в матрицу сходства, она является квадратной и часто называется вторичной матрицей. Но в определении функции сходства ничего не говорится о правилах построения функции. Поэтому исходным множествам можно поставить в соответствие бесконечное число функций. Из тех или иных соображений возникает вопрос о выборе «наилучшей» функции. Определяя степень сходства между парой множеств M_1 и M_2 , мы интуитивно предполагаем какую-то «похожесть» элементов, из которых состоят эти множества. Это интуитивное понятие сходства можно и нужно формализовать через математическое определение. Для этого необходимо построить бинарное отношение сходства на объединенном множестве $M = M_1 \cup M_2$. Другими словами, из прямого произведения $M \times M$ объединенного множества M следует выбрать подмножество $R = \{(c_i, c_j)\}$ пар $R \subseteq M^2$, где $M^2 = M \times M$, удовлетворяющих аксиомам рефлексивности и симметрии, т. е. установить взаимоотношения как между элементами

множеств M_1 и M_2 , так и внутри этих множеств. Формально можно построить достаточно много бинарных отношений сходства на M^2 . Для того, чтобы сузить число отношений, нужна дополнительная информация в виде исходных данных или постановки задачи, которая решается на базе этих данных.

Рассмотрим в качестве примера построение известных функций сходства на основе двух множеств M_1 и M_2 , где M_1 и M_2 — списки видов, присутствующих в данных сообществах. Необходимо рассмотреть прямое произведение M^2 объединенного множества $M = M_1 \cup M_2$ и выбрать подмножество $R \subseteq M^2$, которое удовлетворяет аксиомам сходства. Выбор подмножества R достаточно естественный при множествах M_1 и M_2 , состоящих из набора видов: в R включаются пары $\{(c_i, c_i)\}$, т. е. любой вид похож сам на себя, и пары $\{(b_j, a_i)\}$, $\{(a_i, b_j)\}$; a_i принадлежит M_1 , b_j принадлежит M_2 , когда a_i и b_j совпадают. Они являются общими видами двух списков. Таким образом, множество $R = \{(c_i, c_i), (a_i, b_j), (b_j, a_i)\}$ есть отношение сходства. В количественном выражении оно состоит из удвоенного произведения общих видов и видов, принадлежащих к спискам M_1 и M_2 . Подсчитав количество пар $\{(a_i, b_j), (b_j, a_i)\}$ и $\{(c_i, c_i)\}$ и разделив первое на второе, мы приходим к известному коэффициенту сходства Чекановского—Сьеренсена. Составляя различные комбинации из элементов бинарного отношения сходства R , можно получить коэффициенты Жаккара, Сокала—Снита, Охаи и т. д. Их основой является бинарное отношение сходства R , определенное на объединенном множестве $M = M_1 \cup M_2$, причем естественным способом.

Таким образом, перед тем, как строить какие-то функции сходства на множествах, нужно формализовать понятие сходства на объединенном множестве изучаемых совокупностей, установить отношения математического сходства между элементами множеств или указать алгоритм формирования бинарного отношения.

Так как фитоценозы — типичные объекты системного анализа, а основными компонентами их являются виды, то исходя из классических идей системного анализа можно сформулировать принцип единственности. «Если данные точные и полные, то существует одна и только одна система (математическая модель), воспроизводящая эти данные. Иными словами, все объяснения указанных данных представляют собой изоморфные модели. К настоящему времени неизвестны сколько-нибудь интересные контрпримеры, которые могли бы ограничить принцип единственности» (Калман, 1985). Фитоценозы техногенных ландшафтов имеют четко ограниченную территорию, что позволяет установить их видовой состав достаточно полно, поэтому данные по количеству видов в каждом фитоценозе можно считать достаточно точными. Следовательно, существует единственная математическая модель, устанавливающая сходство между сообществами, единственное бинарное отношение. Бинарные

отношения, из которых выводятся функции сходства Браун-Бланке, Симпсона и т. д., являются гомоморфными, они содержатся в отношении сходства и являются его подмножествами.

Все меры сходства на основе принципа единственности должны быть изоморфны, между ними должно существовать взаимно однозначное соответствие. И действительно, на основании общих соотношений выводится следующая цепь значений рассматриваемых коэффициентов для одних и тех же a, b, c :

$$I_B \leq I_{cs} \leq I_{ov} \leq I_{K_1} \leq I_{Szs};$$

где $I_B = \frac{a}{a+b}$, $b \geq c$ — коэффициент Браун-Бланке; $I_{cs} = \frac{2a}{(a+b)(a+c)}$

— коэффициент Чекановского—Сьеренсена; $I_{ov} = \frac{a}{\sqrt{(a+b)(a+c)}}$

— коэффициент Охай—Баркмана; $I_{K_1} = \frac{a}{2} \left(\frac{1}{a+b} + \frac{1}{a+c} \right)$ — коэф.

фициент Кульчинского; $I_{Szs} = \frac{a}{a+c}$, $b \geq c$ — коэффициент Симпсона (Песенко, 1982). Значения a, b, c вычисляются с помощью известной таксономической таблицы 2×2 , называемой также четырехпольной, которая строится для каждой пары сравниваемых списков. Если каждый список — множество видов по присутствию, то a — число общих видов в двух списках; b — число видов, имеющих только в первом списке; c — число видов, принадлежащих только второму списку. Подробный обзор коэффициентов сходства приводится в работах В. И. Василевича (1972) и Г. С. Розенберга (1977). Такое обилие коэффициентов сходства было бы оправданно в методологическом плане, если бы они обосновывали правомерность переноса знаний, полученных при изучении одной системы, на другие системы различной природы. Мы же при сравнении двух произвольных фитоценозов, представленных списками видов, имеем только одну структуру отношения сходства, которая частично или полностью отображается различными операторами (коэффициентами сходства) на отрезок вещественной оси $[0,1]$. В таком случае мы имеем изоморфные или гомоморфные операторы (функции сходства), которые по сути своей представляют отношения типа «равенство» и не дают нового знания о структуре изучаемых объектов.

Принцип единственности теории систем переносится и на модели фитоценозов. Следовательно, в практике изучения фитоценозов достаточно использовать наиболее простые и часто применяемые коэффициенты сходства Жаккара, Чекановского—Сьеренсена. Тем более, что последний является достаточно корректным с математической точки зрения и удовлетворяет как основным аксиомам для мер сходства, так и общим положениям теории множеств (Семкин, 1973; Миркин, Розенберг, 1978; Песенко, 1982). Он использует всю информацию о структуре отношения сходства.

Показатели участия вида в каждом сообществе, например, обилие, продуктивность и т. д., могут принимать качественные значения, которые с помощью экспертных оценок переводятся в количественные. Все многообразие формул для оценок общности по количественным данным достигается путем расширения хорошо известных индексов сходства по присутствию видов (Жаккара, Чекановского—Сьеренсена и др.) на основе известной матрицы 2×2 . Но вместо показателя a — количества общих видов — вычисляется следующее значение: $\sum \min(a_i, b_i)$, где a_i, b_i — обилие i -го вида в рассматриваемых сообществах или совпадающих видов; вместо b и c в формулы подставляют суммы обилий видов, которые присутствуют в первом и во втором сообществах, соответственно $\sum a_i, \sum b_i$. Все коэффициенты сходства по количественным данным формируются на базе одного и того же бинарного отношения сходства R , как и в случае учета только присутствия вида в сообществе. При этом тем или иным способом каждой паре $(c_i, c_j) \in R$, которая принадлежит отношению сходства R , ставится в соответствие некоторое число или вес. Перечисленные выше коэффициенты сходства Жаккара и Чекановского—Сьеренсена с учетом количественных показателей вида имеют следующую форму:

$$I_j = \frac{\sum \min(a_i, b_i)}{\sum \max(a_i, b_i)} \quad I_{CS} = \frac{2 \sum \min(a_i, b_i)}{\sum a_i + \sum b_i}$$

Все известные коэффициенты удовлетворяют данному выше определению функции сходства. Они меняются от 0 до 1, равны 1, когда флористические списки совпадают как по числу видов, так и по количественным показателям, и не зависят от перестановки местами величин a_i и b_i . Для вычисления различия между сообществами используют метрики расстояния. Действительно, каждый вид можно рассматривать как точку (вектор) в пространстве или на плоскости. Оси координат — изучаемые сообщества, а координатами вида будут значения его количественного признака в сообществе, и наоборот, каждое сообщество можно рассматривать как вектор (точку) в многомерном пространстве признаков, выраженных через координаты видов. Следовательно, можно вводить понятие функции расстояния D , которая удовлетворяет ряду аксиом:

- 1) $D(M_i, M_j) \geq 0$ для всех $i, j = \overline{1, n}$;
- 2) $D(M_i, M_j) = 0$ тогда и только тогда, когда $M_i = M_j$;
- 3) $D(M_i, M_j) = D(M_j, M_i)$;
- 4) $D(M_i, M_j) \leq D(M_i, M_k) + D(M_k, M_j)$.

Значение $D(M_i, M_j)$ называется "расстоянием между M_i и M_j ". Наиболее популярным и часто используемым в геоботанике является расстояние в евклидовой метрике, или просто расстояние между объектами. Оно задается формулой

$$D(M_i, M_j) = \sqrt{\sum_k (a_k - b_k)^2}, \quad \text{где } a_k \in M_i, b_k \in M_j.$$

Существует еще ряд используемых в геоботанике функций расстояния: Хэмминга, D^2 -Махаланобиса и др. Нахождение функции расстояния D^2 сопряжено с большими вычислениями и осуществляется ЭВМ. При расчете на калькуляторах используется следующая упрощенная формула:

$$D_{MS}^2(M_i, M_j) = \Sigma[(a_i - b_j)^2 \Sigma r_{ij}^2]$$

где a_i, b_j — значения признака в описаниях M_i, M_j ; r_{ij} — коэффициент корреляции между признаками. По сложности расчетов это расстояние занимает промежуточное положение между евклидовой метрикой и функцией D^2 -Махаланобиса, в последней тоже учитывается степень коррелятивной связи между признаками. Число функций расстояния достаточно велико, и их обзор дан в монографиях В. И. Василевича (1972) и Г. С. Розенберга (1977). Если рассматривается n сообществ, то их также можно считать множеством (или семейством множеств) M , элементами которого являются сообщества $M = M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, или $M = \{M_i\}$, $i = 1, n$. Функции сходства и расстояния задают каждой паре элементов (сообществ) некоторое число: функция сходства — от 0 до 1, функция расстояния — от 0 до бесконечности (ненормированная). Совокупность значений этих функций формирует матрицу сходства и матрицу расстояний. Эти матрицы квадратные, размерностью $m \times m$. По диагонали стоят единицы, если это матрица сходства, и нули, если это матрица расстояний:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1m} \\ s_{21} & 1 & \dots & s_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

где S — матрица сходства, D — матрица расстояний, s_{ij}, d_{ij} — значение функций, причем $s_{ij} = s_{ji}$ и $d_{ij} = d_{ji}$. Матрицы симметричны.

Другими словами, мы имеем прямое произведение $M \times M$ (M^2) на семействе множеств M , любое подмножество которого есть бинарное отношение (необязательно сходства). Более того, прямое произведение является отношением эквивалентности Q , которое определяется как подмножество прямого произведения (в данном случае они совпадают) и удовлетворяет следующим определениям:

- 1) $(M_i, M_i) \in Q$ для любого M_i из M — рефлексивность;
- 2) $(M_i, M_j) \in Q$ и $(M_j, M_i) \in Q$ — симметрия;
- 3) из $(M_i, M_k) \in Q$ и $(M_k, M_j) \in Q$ следует, что $(M_i, M_j) \in Q$ — транзитивность.

Отношение эквивалентности обладает рядом интересных свойств.

Если дано разбиение множества M на непересекающиеся подмножества, то тем самым задано некоторое отношение эквивалентности. Верно и наоборот: если задано отношение эквивалентности, то оно разбиает множество M на непересекающиеся классы (Оре, 1968). Функция расстояния, в отличие от функции сходства, индуцирует отношение различия, которое отличается от отношения эквивалентности одной аксиомой, вернее, рефлексивность (каждый объект похож на себя) заменяется аксиомой антирефлексивности. Пары $\{(M_i, M_i)\}$ не принадлежат отношению различия: по диагонали матрицы D стоят нули. Графически матрицы S и D изображаются на плоскости m точками, соединенными отрезками, как определялось выше. Точки — вершины графа, отрезки — его ребра, каждая вершина соединена с любой другой. За длину ребра принимается значение функций расстояния и сходства — каждое ребро имеет вес. Если количество сообществ велико, то такой граф и матрица сходства (различия) становятся плохо обозримыми. Тогда берут за основу какое-то пороговое значение α или алгоритм и пытаются выявить внутреннюю структуру прямого произведения. Выбор порога α производится из опыта предыдущих исследований или других эвристических соображений. Получают подмножество на матрице сходства (различия). Граф упрощается, т. е. мы пришли к плеядам Терентьева. Задавая алгоритм (правило) выделения бинарного отношения, мы можем получить древовидный граф, или дендрограмму.

Функция расстояния — показатель различия; чем меньше различие, тем больше сходства между объектами. Наоборот, функция сходства — показатель «подобия» объектов; чем меньше сходство, тем больше различие. Поэтому и рассматривают подмножества прямого произведения, вводя пороговые значения. Понятия «различный» и «сходный» в какой-то мере инверсны. Определяя отношение сходства R на множестве M , мы получаем дополнительное отношение, или отрицание \bar{R} , так что условие $M_i \bar{R} M_j$ выполняется тогда и только тогда, когда не выполняется условие $M_i R M_j$. Для отношения сходства и эквивалентности \bar{R} будет отношением несходства, т. е. выделяются несходные между собой объекты, или пары $\{(M_i, M_j)\}$, которые не входят в граф сходства. Отношение несходства удовлетворяет аксиомам антирефлексивности и симметрии. Определяя отношение различия, мы индуцируем отношение сходства между оставшимися парами объектов.

Данные по количеству видов в каждом множестве M_i , $i = \overline{1, p}$ можно считать полными по крайней мере для фитоценозов на нарушенных землях в силу четкой их отграниченности. Можно принять гипотезу и о точности количественных характеристик изучаемых видов. Мы не встречали работ по геоботанике с указанием пределов варьирования показателей, установленных многократной проверкой опытным путем. Тогда, исходя из принципа единст-

венности теории систем и признавая фитоценоз сложной системой, можно утверждать, что существует одна минимальная модель, описывающая эти данные, а все остальные являются изоморфными. И действительно, при сравнении матриц сходства, вычисленных при помощи различных индексов на одном и том же множестве сообществ $M = \{M_i, i = \overline{1, m}\}$ мы получаем одни и те же результаты: более сходные объекты по одному индексу сходства оказываются более сходными и по другому, и наоборот, менее сходные являются менее сходными и по другой функции сходства, т. е. структура матрицы практически не меняется. Особенно ярко это видно, если сравнивать матрицу сходства с матрицей расстояний, полученных для одного и того же множества (семейства множеств), например, по сопряженным видам. Объекты, которые имеют «большие» значения по функции сходства, чаще всего имеют «малые» значения по функции расстояния, и наоборот. Таким образом, в применении различных функций сходства и функций расстояния нет принципиальных различий. Эти функции или изоморфны, или гомоморфны и не могут дать принципиально новой дополнительной информации для прогноза. Более наглядно «изоморфизм» всех функций можно показать с использованием матричного изображения. Пусть M_i и M_j — два сообщества из множества $M = \{M_k\}$, $k = \overline{1, m}$, элементами этих сообществ являются виды как основные компоненты системы (фитоценоза). Тогда на объединенном множестве $M = M_i \cup M_j$ строим бинарное отношение сходства R , как определено выше. В матричном виде это выглядит так:

$$R = \left(\begin{array}{ccc|ccc} (a_1, a_1) & 0 & \dots & 0 & (a_1, b_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (a_2, a_2) & \dots & 0 & 0 & (a_2, b_2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (a_m, a_m) & 0 & 0 & \dots & (a_m, b_m) \\ \hline (b_1, a_1) & 0 & \dots & 0 & (b_1, b_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (b_2, a_2) & \dots & 0 & 0 & (b_2, b_2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (b_m, a_m) & 0 & 0 & \dots & (b_m, b_m) \end{array} \right)$$

где a_k принадлежит M_i ; b_k — M_j . Бинарное отношение R условно состоит из четырех подмножеств: $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4\}$, где $R_1 = \{(a_k, a_k)\}$, $R_2 = \{(b_k, b_k)\}$, $R_3 = \{(a_k, b_k)\}$, $R_4 = \{(b_k, a_k)\}$, причем если a_i не присутствует в M_i , то (a_i, a_i) , (a_i, b_i) , (b_i, a_i) исключается из R_1, R_3, R_4 ; если b_i не принадлежит M_j , то (b_i, b_i) , (a_i, b_i) , (b_i, a_i) исключается из R_2, R_3, R_4 . Такая форма матрицы, при отмеченных исключениях,

выбрана для удобства изображения связи между элементами (видами) двух множеств, связь между которыми отображают пары (a_i, b_i) , (b_i, a_i) в верхнем правом и нижнем левом квадрате. Изображенная матрица — это граф, вершинами которого являются элементы a_i, b_i , а пары — ребра с определенной длиной или «весом». Если рассматриваются сообщества по присутствию (отсутствию) видов, то обычно длина ребра принимается за единицу. В операторной форме известные индексы сходства выражаются следующим образом:

1) $R \xrightarrow{I_{cs}} [0,1]$ для коэффициента Чекановского — Сьеренсена, т. е. оператор I_{cs} отображает все бинарное отношение сходства на отрезок $[0,1]$ по определенному правилу, исходя из структуры отношения;

2) $R \equiv R_j = \{R_3, R_1 \cup R_2 / R_j\} \xrightarrow{I_j} [0,1]$ для коэффициента Жаккара,

3) $R \equiv R_* = \{R_1, R_2, R_3\} \xrightarrow{I_K} [0,1]$ для коэффициента Кульчинского и Охай — Баркмана. Подобный анализ можно продолжать и дальше, но смысл один — отображается все или часть одного и того же отношения сходства. Рассмотрим отображение, осуществляемое функцией расстояния в евклидовой метрике:

$$D(M_i, M_j) = \sqrt{\sum (a_k - b_k)^2},$$

т. е. каждой паре элементов (a_k, b_k) подмножества из бинарного отношения соответствует разность между показателями количественного участия видов. Переписывая эту формулу в выражениях бинарных отношений, получаем:

$$D(M_i, M_j) = \sqrt{\sum (a_k, b_k)(b_k, a_k)},$$

где D — оператор, который отображает подмножество $R_p = \{R_3, R_4\}$ на вещественную ось. Различными способами можно перейти от функций расстояния к функциям сходства, например:

$$I(M_i, M_j) = 1 / [1 + D(M_i, M_j)].$$

Легко проверить, что все свойства меры сходства для I выполняются. Многими авторами отмечались функциональные связи между различными типами показателей: сходства, различия, корреляции и т. д., выявлена линейная зависимость мер расстояния между объектами и индексами (функциями) сходства, на отдельных примерах показано, что специфика функций соответствия теряется (Песенко, 1982). Видимо, мнение о том, что эти показатели имеют различную математическую природу, следует уточнить. Действительно, символическая форма их различна, но отображают они одну и ту же математическую структуру, одно и то же бинарное отношение множеств M_i, M_j на отрезок $[0,1]$. Изоморфизм всех показателей сходства, различия и т. д. может быть установлен

сразу же из принципа единственности, а это означает «равенство» различных моделей как в прогностическом смысле, так и по объему новых знаний, которые дают эти модели об изучаемых объектах. Конечно, «любая группа явлений может быть непротиворечиво описана разными путями, вернее, с помощью бесконечно большого числа путей. Независимо от причин, по которым мы выбираем способ интерпретации, мы можем выбрать любой способ, кажущийся нам наиболее целесообразным...» (Мултон, цит. по: Харман, 1972).

Вид как основной компонент фитоценоза может быть охарактеризован не только по его участию в определенном фитоценозе, но и по ряду биоэкологических, морфометрических, химических и других показателей. Тогда от векторной формы исходных данных мы приходим к матричной, где каждая строка представляет собой набор признаков. В качестве примера можно привести данные по химическому (микроэлементному) составу видов в разных растительных сообществах. Каждый вид обычно характеризуется десятками показателей. В этом заключается трудность смыслового анализа. Методы одномерной статистики применимы, но они дают возможность анализировать отдельный показатель. В практической работе необходима комплексная оценка по совокупности показателей, так как химический состав отдельных видов растений рассматривается нами, наряду с продуктивностью растительных сообществ, флористическим списком и т. д., как часть комплекса признаков формирующихся сообществ.

Комплексная оценка химического состава растений и субстрата осуществляется многомерными математическими методами, такими как методы теории графов, дискриминантный анализ и др. Таблицу исходных данных по химическому составу можно рассматривать как конечный набор векторов или точек многомерного пространства признаков. Естественно предположить, что геометрическая близость двух или нескольких точек в этом пространстве, выражающаяся метриками расстояния, означает их биологическую близость. Характеристику различных метрик расстояния можно найти в специальных обзорах (Василевич, 1969, 1972; Миркин, Розенберг, 1979). Чаще всего используют евклидово расстояние и функцию D^2 -Махаланобиса.

Так как пробы берутся на различных, заранее типизированных территориях, четко ограниченных в соответствии с решаемой задачей самим исследователем, то исходные данные изначально разбиты на несколько классов, чаще всего — по территориальной принадлежности. Цель классификации заключается в нахождении сходства между объектами изучаемых территорий. Она может достигаться различными способами. Можно вычислить расстояние между центрами «тяжести» выделенных групп и судить о степени различия между ними или ввести функции сходства по количе-

ству общих точек, если выпуклые оболочки пересекаются в многомерном пространстве. Выбор метода существенно зависит от внутренней структуры исходных данных в многомерном пространстве признаков. Но мы не можем графически изобразить наши объекты, если размерность пространства больше, чем три признака. Для минимизации исходного признакового пространства существуют методы факторного, дискриминантного анализа, причем исходные данные можно представить в новых координатах меньшей размерности — первых двух-трех факторах (главных компонентах), без большой потери исходной информации. После получения наглядного представления о скоплениях точек в новой системе координат выбирают те или иные меры сходства или различия. При заметном расхождении выделенных групп для определения различия между ними лучше выбрать такие расстояния, как расстояние D^2 -Махаланобиса. Если при добавлении новых контрольных точек значения расстояний мало меняются, то налицо устойчивость полученных результатов и математической модели. При пересечении выделенных заранее групп лучше вводить меры сходства как более устойчивые показатели при добавлении новых контрольных точек, так как в этом случае центры «тяжести» групп находятся близко друг от друга и величина расстояния между группами более чувствительна к добавлению контрольных точек.

Дискриминантный анализ — один из многомерных методов для сравнения степени различия между заранее выделенными группами объектов. Он достаточно полно учитывает объем исходной информации и использует не только значения отдельных признаков, но и их связность. Как и в других многомерных моделях, в его основу положена матрица наблюдений, но в отличие от метода главных компонент (факторного анализа) исходной матрице задается структура, обусловленная своеобразием исследуемых групп объектов. Конечной целью дискриминантного анализа является представление изучаемых групп в новом пространстве признаков как можно меньшей размерности. Обобщенные расстояния в новой системе координат между центрами «тяжести» групп с учетом коррелятивной связи признаков и будут оценками различий (Кульбак, 1967).

Как правило, все изучаемые объекты можно изобразить в первых двух канонических осях, после чего определяется степень различия между группами. Все функции расстояния являются ненормированными величинами и изменяются от нуля до бесконечности, а варьирование в группах объектов может быть настолько значительным, что эти группы могут пересекаться.

Дискриминантный анализ является мощным и в то же время гибким инструментом для изучения взаиморасположения групп, но недостатком его являются жесткие требования к исходным данным, что не позволяет строго фиксировать действительное расположение групп. Он дает только предварительную оценку связи

между ними (Андерсон, 1963). Такая нечеткость, огрубленность характерна для любой математической модели, применяемой в биологии, в силу невыполнимости многих требований к исходным данным. Если центры групп находятся близко друг от друга и области пересечения по границам множеств сильно перекрываются, то взаиморасположение центров на плоскости канонических осей и структура графов по матрице расстояний неустойчивы.

Как показывает опыт работы с различным биологическим материалом, более устойчивым является показатель сходства, основанный на теории графов. Если мы хотим определить сходство между двумя группами объектов, которые рассматриваются как конечные множества M_1 и M_2 , нам надо найти некоторое подмножество прямого произведения, объединенного множеством $M = M_1 \cup M_2$. В качестве такого подмножества можно рассматривать граф на объединенном множестве M . Так как M_1 и M_2 геометрически представляются как множество точек многомерного (евклидова) пространства, то за величину ребер графа принимаем расстояние между этими точками. Как естественное понятие близости, выбираем граф с минимальной длиной ребер в определенной метрике. Подсчитаем количество ребер графа, которые соединяют точки из разных множеств (M_1 и M_2), и отнесем их к общему количеству ребер.

В аналитической форме это отношение можно записать так:

$$K = a / (n_1 + n_2 - 1)$$

где a — количество общих ребер; n_1, n_2 — число объектов соответственно в M_1 и M_2 , т. е. знаменатель показывает число ребер на объединенном множестве M (Елькин, Ищенко, 1979). Введенный коэффициент сходства K удовлетворяет аксиомам функции сходства (Дюран, Оделл, 1977).

Этот коэффициент имеет вполне определенный биологический смысл. Он показывает, какова доля сходных элементов в двух сравниваемых множествах (M_1, M_2). Приведенный коэффициент является аналогом широко применяемого в фитоценологии коэффициента Жаккара, который основан на тождественном совпадении видов в двух флористических списках и представляет собой отношение числа общих видов к числу видов в объединенном списке. Но при определении сходства двух изучаемых объектов очень редко имеет место тождественное совпадение элементов. Приведенный коэффициент разрешает проблему, беря за основу не тождественность, а минимальное расстояние между элементами сравниваемых множеств.

Если мы возьмем две достаточно большие выборки из одной «генеральной» совокупности, то значение коэффициента сходства должно равняться 0,5 или быть близким к этому значению, так как по сути вероятность связи элементов из M_1 с элементами из M_2 точно такая же, как и вероятность связи элемента из M_2 с элемен-

том из M_1 , и равняется 0,5. При проведении машинного эксперимента на больших выборках из одной «генеральной» совокупности и моделировании выборки методом Монте-Карло результаты были однозначны. Значения функции сходства колебались с малой вариабельностью около 0,5. Устойчивость показателя K для пересекающихся множеств в сравнении с показателями различия дает более стабильные выходные данные для использованных математических моделей. Кроме того, коэффициент сходства K нормирован от 0 до 1 и хорошо поддается биологической интерпретации (Ищенко, Елькин, 1981).

В данной работе применялись как меры расстояния, так и коэффициенты сходства K , производилась проверка на устойчивость результатов, полученных на выходе математических моделей. Можно дать и вероятностную интерпретацию этого коэффициента. Согласно алгоритму построения древовидного графа с минимальной длиной ребер, случайным событием будем считать, «присоединился» или нет элемент из множества M_1 к элементу из множества M_2 , и подсчитаем его статистическую вероятность $P = \frac{a}{n-1}$ где a — количество ребер, соединяющих вершины из M_1 и M_2 , а n — количество точек в объединенном множестве. Действительно, если множества M_1 и M_2 взяты из одной «генеральной» совокупности, то, видимо, элементу из M_1 «безразлично», к какому элементу из M_1 или M_2 присоединиться. Из соображений симметрии можно постулировать в этом случае вероятность этого случайного события ($p=0,5$).

В других случаях необходимо подсчитать значения коэффициента сходства в качестве статистической вероятности, эмпирически проверить его устойчивость увеличением длины выборки, приняв за вероятность значения коэффициента сходства при его стабилизации. При этом можно исходить из понятия биномиального распределения (Вентцель, Овчаров, 1988; Глотов и др., 1982), так как при сравнении двух множеств имеются две альтернативы: элемент присоединяется к элементу или из своего, или из чужого множества с определенной вероятностью. Аналитическое выражение этого распределения записывается следующим образом:

$$P_{n,p}(k) = C_n^k p^k q^{n-k},$$

где $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ — число сочетаний из n элементов по k ;

p — вероятность, равная числовому значению функции сходства;
 q — вероятность противоположного события, $q = 1 - p$. Биномиальное распределение обладает рядом интересных свойств. Математическое ожидание выражается через n и p , $E = np$, а дисперсия $D = npq$. Биномиальное распределение симметрично только при $p = 0,5$, асимметрия этого распределения возрастает при приближении p к нулю или единице. Качественные альтернативные признаки нередко имеют распределение, близкое к биномиальному,

но если $n \rightarrow \infty$, то биномиальное распределение с параметрами p и n стремится к нормальному. Однако эта аппроксимация справедлива асимптотически. При небольшом n приближения могут быть очень неточными. Тогда можно оценить вероятность того, что случайная величина попадает в заданный интервал

$$P\{a \leq x \leq b\} = \Phi(u_2) - \Phi(u_1),$$

где
$$u_2 = \frac{(b - np + 0,5)}{\sqrt{npq}}, \quad u_1 = \frac{(a - np - 0,5)}{\sqrt{npq}}$$

Такая аппроксимация применяется при $npq > 9$, константы $\mp 0,5$ улучшают аппроксимацию дискретного распределения и называются поправками на дискретность, ими можно пренебречь при больших n (Глотов и др., 1982). Устойчивость полученных результатов по коэффициенту сходства проверялась на большом, правда, зоологическом, материале, а также путем сравнения теоретического распределения с эмпирическим. Эмпирические распределения получались путем генерирования выборок методом Монте-Карло и разбиением исходных «больших» выборок на подвыборки (Ищенко, Елькин, 1981). Сравнение получалось практически идеальным. Таким образом, как из теоретических посылок, так и эмпирическим путем показано соответствие предложенного коэффициента сходства в качестве вероятности случайной величины биномиальному закону распределения, который при достаточно больших n аппроксимируется нормальным законом распределения.

Судить о степени связи между сообществами можно не только по известным коэффициентам сходства, но и через коэффициенты корреляции между сообществами. Каждое сообщество как объект исследования характеризуется набором видов с их количественными и качественными показателями. Тогда коэффициент корреляции между двумя фитоценозами по набору видов можно представить как косинус угла между двумя векторами в многомерном пространстве признаков (видов); чем меньше угол между векторами, тем «ближе» рассматриваемые объекты (переменные). Количественная оценка степени связи двух фитоценозов зависит в конечном итоге от показателей участия видов в изучаемых фитоценозах. Но количественные характеристики видов зависят от ряда экологических, эдафических и других факторов. Следовательно, как в коэффициенте корреляции, так и в матрице коэффициентов корреляции содержится важная информация о связях фитоценозов с учетом варибельности характеристик видов, вызванной внешними условиями. Коррелятивная связь чаще всего обусловлена невыявленным комплексом реальных действующих факторов и не является причинно-следственной, функциональной связью между рассматриваемыми фитоценозами, которые могут быть сильно удалены в пространстве и времени.

Множество коэффициентов корреляции группы сообщества записывается в матрицу корреляций R , которая является квадратной, симметричной и обладает рядом интересных свойств с точки зрения математики (линейной алгебры) (Курош, 1963). У матрицы R имеется m собственных чисел $\{\lambda_m\}$ и соответствующих им собственных векторов $\{V_m\}$. Матрицу можно представить следующим образом: $RV_i = \lambda_i V_i$, где λ_i , V_i — соответственно собственное число и собственный вектор. Если вычислена матрица R , то существуют алгоритмы и программы для расчета собственных чисел и собственных векторов.

Математически задача факторного анализа в операторной форме записывается так: $F = B \cdot X$, где X — матрица исходных данных, которая известна; F — матрица факторов; B — матрица (оператор) перехода от исходной системы векторов (матрицы X) к новой системе (матрице F). Другими словами, оператор B проектирует пространство параметров X на новое пространство, которое должно удовлетворять ряду условий или гипотез. Получив систему собственных векторов, мы приходим к новому пространству, натянутому на эти векторы. Доказано, что эти векторы являются ортогональными, или независимыми. По заданной корреляционной матрице размерности $m \times m$, по ее собственным значениям и векторам может быть получена новая система координат, которая обладает важным свойством. Собственные числа можно упорядочить от большего к меньшему, исходя из свойства симметричности матрицы R . Тогда каждая из новых осей координат учитывает максимум суммарной дисперсии исходных переменных. Эти новые оси координат называются главными компонентами, а чисто математический метод их нахождения в прикладных науках — методом главных компонент.

Первая главная компонента, соответствующая наибольшему собственному значению, учитывает максимум суммарной дисперсии исходных переменных, вторая не коррелирует с первой и вбирает в себя максимум оставшейся дисперсии и т. д. Главные компоненты выражаются как линейная комбинация исходных переменных, коэффициенты в линейных уравнениях получаются из собственных чисел и векторов матрицы корреляций R . У новых компонент обязательно должен быть экологический смысл, так как они получены чисто математическим путем, но, как показывает опыт работы с данным методом, компоненты, которые учитывают максимум вариабельности исходных данных, этот смысл имеют. Отбрасывая часть компонент, содержащих «малую» часть общей дисперсии, мы уменьшаем признаковое пространство. Иногда, исходя из соображений биологического характера, удается оставить две-три главные компоненты, содержащие основную долю вариабельности исходных данных, и в осях координат на плоскости изобразить исходные дан-

ные, т. е. наглядно выявить взаимосвязь между исходными переменными и признаками. Исторически сложилось так, что метод главных компонент и модели факторного анализа записываются в видоизмененной форме: $X = A \cdot F$, где A — матрица факторного отображения, а ее элементы a_{ij} называются факторными нагрузками или коэффициентами регрессии факторов по исходным переменным; F — матрица факторов (главных компонент), или в форме уравнений:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{ij}F_j + \dots + a_{ir}F_r.$$

где $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, r}$, $r \leq m$, X_i — сообщества; F_j — факторы.

Матрица A определяется алгебраическим методом по значениям собственных чисел и векторов. Зная матрицы A и X , можно определить значения факторных нагрузок видов и сообществ в новом пространстве главных компонент и найти матрицу F , умножая слева и справа операторное уравнение на обратную матрицу A^{-1} : $A^{-1} \cdot X = F$.

Метод главных компонент дает единственное отображение исходных данных в новом признаковом пространстве и точную оценку положения изучаемых объектов в этом пространстве. Каждой переменной соответствует ряд компонент по величине и значению факторных нагрузок a_{ij} , причем эти нагрузки показывают связь определенного сообщества с той или иной главной компонентой. Если рассматривать каждое сообщество как вектор в новой системе координат, то значение факторной нагрузки можно интерпретировать как косинус угла между вектором (сообществом) и новой компонентой или как степень коррелятивной связи между сообществом и компонентой. Чем выше значение a_{ij} , тем сильнее связана переменная с данной компонентой. Выбирая по силе связи те или иные сообщества, мы решаем задачу их классификации* в новой системе координат. Зная биологический смысл группировки сообществ и привлекая дополнительную информацию, можно экологически интерпретировать компоненты, особенно первые, содержащие максимум дисперсии. Таким образом, возможен переход к новым гипотетическим переменным, которые математически функционально связывают исходные переменные или сообщества. Если удастся интерпретировать их биологически, то можно объяснить факторы, которые вызывают коррелятивную связь между изучаемыми сообществами. Трудно предположить, чтобы действующие факторы были независимыми. Метод главных компонент дает только независимые, ортогональные компоненты, которые иногда не удастся удовлетворительно биологически интерпретировать, вполне возможно, в силу их независимости.

В какой-то мере недостатки метода главных компонент компенсируются при использовании методов факторного анализа. Для

большинства из них метод главных компонент является основой, хотя иногда для факторных моделей используют и другие эвристические гипотезы. Если для модели метода главных компонент необходимо найти только одну матрицу факторного отображения A , то для моделей факторного анализа число переходов (операторов) для получения окончательного решения увеличивается. В последовательной системе операторов модель факторного анализа представляется в следующем виде: первоначально, как и в методе главных компонент, вычисляется матрица корреляций $R = W_1(X)$; затем редуцированная корреляционная матрица $R_h = W_2(R)$, по главной диагонали которой стоят общности $h, j = \overline{1, m}$, отличающиеся от единицы; далее по R_h получают матрицу факторных нагрузок A , $A = W_3(R_h)$. Из тех или иных соображений путем поворота новых факторных осей получают повернутую матрицу факторных нагрузок $V = W_4(A)$ и переходят, если это улучшает биологическую интерпретацию, к косоугольной системе координат:

$$V_1 = W_5(A) \text{ или } V_1 = W_5^1(V).$$

После этого вычисляют матрицу значений факторов $F = W_6(V_1)$.

Введение и развитие идей факторного анализа исторически связано именно с тем, что метод главных компонент дает только однозначное решение, которое зачастую трудно интерпретируется биологически. Ведь основная задача, которая ставилась при применении методов факторного анализа — выявить гипотетические факторы, которые обуславливают коррелятивную связь между изучаемыми объектами, переменными, сообществами. Чисто формальный метод главных компонент зачастую не удовлетворяет исследователей, не выявляет эти скрытые причины. Кроме того, данные в исходной матрице X являются зашумленными. Исходя из принципа неопределенности системного анализа, должна существовать не единственная модель, описывающая эти данные (Калман, 1985).

Смысл метода факторного анализа с формальной точки зрения заключается в наилучшей аппроксимации этой корреляционной матрицы из тех или иных эвристических соображений. Отсюда следует и неопределенность окончательных решений факторного анализа, так как существует бесконечное множество способов аппроксимации матрицы R матрицей A факторного отображения. Возможно большое число матриц A , которые будут одинаково хорошо воспроизводить корреляционную матрицу R , точнее сказать, редуцированную матрицу R_h , с общностями на главной диагонали, которые отличны от единицы и где значения коэффициентов корреляции практически совпадают с вычисленными по исходным данным.

Существует несколько способов выделения числа факторов или нахождения матрицы факторного отображения A : 1) алгебраический, который сводится к определению ранга матрицы R ; 2) статистический, в котором основной критерий — определение уровней

значимости для всей генеральной совокупности; 3) психометрический (Иберла, 1980) и др.

В данной работе количество общих факторов определялось комбинированным способом с применением теории графов и алгебраического метода. Алгебраический подход основывается на нахождении собственных чисел и собственных векторов. Так как собственные числа матрицы R можно упорядочить по убыванию от λ_1 до λ_m , то для выделения общих факторов брались собственные числа больше или равные единице. Этот метод известен как метод главных факторов. Он, как и метод главных компонент, более подробно описан в монографии Т. Андерсона (1963).

Метод главных факторов приводит к частичному решению проблемы, позволяя уменьшить число факторов по сравнению с числом исходных переменных, линейно связанных с ними, т. е. минимизировать факторное пространство. Но возникает вопрос: каков общий критерий выбора того или иного факторного решения? Видимо, основным критерием должна быть устойчивость этого решения при верификации полученных результатов, оно должно мало меняться как при добавлении новой переменной, так и при переходе от одной выборки к другой или при разделении выборки на равноценные части. Это эмпирическая проверка устойчивости полученных результатов, их воспроизводимости. Формальным критерием является принцип «простой структуры», предложенный Тэрстоуном (Харман, 1972; Иберла, 1980).

Мы исходили из другой гипотезы. Цель факторного анализа — наилучшим способом связать переменные с новыми гипотетическими факторами на основе матрицы корреляций, которая является бинарным отношением сходства между изучаемыми параметрами, и дать смысловую интерпретацию выделенным факторам. Мы попытались методами теории графов выявить структуру матрицы корреляций, выделить группы связанных между собой сообществ, задаваясь тем или иным бинарным отношением сходства. Например, беря за основу какое-то пороговое значение, выделяли плеяды Терентьева, строили дендрограммы сходства и т. д. Группы сообществ, выделенные методами теории графов на матрице корреляций, интерпретировались с использованием дополнительной экологической информации, получалось разбиение исходного материала на совокупности сообществ уже с биологически осмысленными связями. С помощью метода главных факторов исходный материал (сообщества) дифференцировался на ряд групп, которые сравнивались с группами, полученными методом графов. При «хорошем» совпадении процесс поиска других факторных решений прекращался. В иных случаях, исходя из структуры факторного отображения матрицы A , переходят к методам вращения или к косоугольной системе координат, предполагая, что многие влияющие факторы наверняка коррелируют друг с другом и постулирование незави-

симости не совсем корректно. Полученное таким образом факторное решение оказывается, как правило, биологически интерпретируемым, сокращается число «малоинформативных» факторов, и, самое главное, оно достаточно устойчиво к добавлению или удалению новых признаков и переменных.

Часто методы теории графов и факторного анализа противопоставляются (например, дискуссия у Иберла, 1980). Но в методах как теории графов, так и факторного анализа за основу принимается матрица корреляций, т. е. основа обоих методов одна и та же. В операторной форме это можно выразить так:

$$W_1 = G(R), \quad W_2 = F(R),$$

где G и F соответственно операторы отображения теории графов и факторного анализа. С помощью методов теории графов сообщества группируются по силе коррелятивной связи. Следовательно, за группами сообществ тоже стоит комплекс действующих факторов, обуславливающих эти корреляции. Но методы теории графов, в отличие от факторного анализа, не дают количественных оценок влияния действующих факторов (причин) на исходные переменные.

В модели факторного анализа это выражается в уравнениях линейной регрессии исходных переменных по главным факторам и математически записывается так:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{ir}F_r,$$

$i = \overline{1, m}; r \leq m; X_i$ — исходная переменная.

По величине и значению a_{ij} факторных нагрузок можно определить степень связи между переменными и факторами. Задаваясь тем или иным порогом для факторных нагрузок a_{ij} , выделяя факторы, нагрузки которых значительно отличаются от нуля, мы приходим к графу — бинарному отношению, связывающему переменные и факторы. Примеры таких связей даны при анализе конкретного материала геоботанических исследований.

Модели факторного анализа являются линейными моделями. Это связано с тем, что многие математические методы исследования приспособлены к линейным задачам. Кроме того, предположение линейности имеет вполне удовлетворительную, а иногда и высокую степень адекватности. Введение операций сложения и вычитания всегда опирается на некий постулат линейности. Применение линейных моделей оправдано еще и тем, что информация об истинном характере зависимостей явно недостаточна, особенно при решении задач геоботаники и экологии. Конечно, всякая линейаризация требует осторожности, но и привлекать нелинейные соотношения без должных оснований не следует (Блехман и др., 1983).

Таким образом, при математическом анализе исходные переменные (сообщества) связывались с новыми гипотетическими пере-

менными или факторами, оценивалось влияние групп факторов на каждую исходную переменную по значению факторных нагрузок. Выделение факторов носило формально-эвристический характер, так как они непосредственно не выражались через исходные данные, а получались из анализа матрицы корреляций. Другими словами, решалась задача функционального выражения исходных переменных через новые переменные, факторы или в операторной форме: $X=A \cdot F$.

Найдена матрица факторного отображения A , но значение факторов осталось неоцененным, матрица F неизвестна. Вторая задача факторного анализа — измерение новых гипотетических переменных, или нахождение матрицы F . Необходимо оценить вновь полученные факторы через исходные данные и найти линейные уравнения регрессии факторов по исходным переменным:

$$F_j = b_{1j}X_1 + b_{2j}X_2 + \dots + b_{mj}X_m,$$

где X_j — исходные переменные; F_j — неоцененные факторы; $j=1, \dots, r$, $r \leq m$, b_{1j} — постоянные в уравнениях регрессии. В методе главных компонент $b_{1j} = \frac{a_{1j}}{\lambda_j}$, где a_{1j} — элемент матрицы факторного

отображения A ; λ — собственное значение, соответствующее фактору F . Расчет b_{ij} в общем случае факторного анализа достаточно сложен, подробно с ним можно ознакомиться в ряде обзоров по этим методам (Харман, 1972; Иберла, 1980).

Из операторной формы основного уравнения факторного анализа очевидно решение второй задачи. Матрица A определена, матрица исходных данных известна, из уравнения можно найти одно неизвестное F . Итак, задача факторного анализа решена полностью с количественными оценками и связями между переменными и новыми факторами, а также друг с другом. Метод главных компонент и факторный анализ генерируют новые величины, которые трудно или невозможно измерить на практике. Как и любая модель, модель факторного анализа на выходе дает прогноз новых гипотетических переменных на основе матрицы исходных данных. Если факторы экологически хорошо интерпретируются, то возможно получение количественных оценок прогноза.

В фундаментальных естественных науках прогноз означает не только получение и количественную оценку новых величин, но и уверенность в хорошей воспроизводимости полученных результатов, а настоящая уверенность приходит после многократной проверки. Необходимо проверить качество модели факторного анализа на конкретном материале, где действующие факторы заранее известны, определить факторы, которые бы отражали структуру матрицы корреляций «или бы соответствовали принципу простой структуры;

задача группировки исходных переменных заключается в разбиении переменных методом факторного анализа на такие группы, что переменные, входящие в одну группу, сильно коррелируют между собой, а переменные, входящие в разные группы — слабо» (Иберла, 1980). Подобные группы можно определить методами теории графов, задаваясь такой же гипотезой и определяя бинарные отношения сходства или даже эквивалентности на матрице корреляций.

Проверка модели осуществлялась на двух объектах, представленных совокупностью фитоценозов, каждый из которых характеризовался набором видов с показателями обилия, постоянства и др. Реально действующими факторами были влажность субстрата и возраст фитоценозов, т. е. степень их сформированности. Модель факторного анализа позволила определить гипотетические факторы, которые соответствуют реальным, воздействующим на данные фитоценозы. По количественным оценкам факторов приходим к прогнозу групп видов, характерных для фитоценозов определенного возраста, и стратегии большинства видов в данных фитоценозах. Устойчивость прогноза была подтверждена на контрольной выборке.

При разделении исходных переменных на две группы, соответствующие двум изучаемым объектам, как показано в работе по отвалам Аккермановского и Новокиевского месторождений (Чибрик, Елькин, 1989 а), структура графов и группировка сообществ по выделенным факторам оставалась без изменения, хотя длина выборок в два раза уменьшилась. Тем самым эмпирическим путем была показана объективность процедур факторного анализа и правомерность выбора критерия наилучшей модели факторного анализа с помощью методов теории графов. Реализация этого принципа широко осуществлялась в данной работе.

Модель факторного анализа основывается на матрице исходных данных X , которые варьируют в некоторых пределах. Следовательно, результаты, полученные на выходе модели, также будут варьировать в каких-то пределах. Устойчивость прогноза использованной модели проверялась в интервалах варьирования исходных показателей методами Монте-Карло с использованием ЭВМ (Соболь, 1973).

Оказалось, что методы факторного анализа и теории графов дают устойчивые результаты при работе с флористическими списками, характеризующими фитоценозы, с морфометрическими показателями при изучении ценопопуляций, но неустойчивы при работе с данными по химическому составу растений. В последнем случае как структура корреляционной матрицы, так и конечные результаты могут резко и хаотично меняться при добавлении контрольных выборок и случайном разделении исходного материала. Вероятно, это объясняется усредненностью показателей (полевое усреднение

образца), сильной неоднородностью исходного материала и др. Эти данные описывались другими моделями с использованием метрик расстояния по центрам «тяжести» выбранных групп, различных коэффициентов сходства и т. д. Тем более, что структура исходной матрицы по принадлежности объектов исследования к той или иной группе была известна заранее.

Каждое сообщество по присутствию (отсутствию) видов можно определить как конечное четкое множество, к тому же выявить видовой состав сообщества на сравнительно небольшой ограниченной территории несложно. Но при описании сообществ определяется обилие, численность, встречаемость, постоянство вида и т. д., и в силу того, что фитоценозы мы рассматриваем как зашумленные системы (определение зашумленности дано ниже), есть предел точности определения этих показателей. Часто обилие вида определяется по шкале Друде, которая в сущности дает качественную оценку. Сравнивать, давать количественные оценки по такой шкале невозможно из-за неопределенности самих показателей. Для оценки тесноты связи между сообществами показатели шкалы переводят в ранги и вычисляют непараметрические коэффициенты связи Кэндалла, Спирмена и др.

Флористические списки можно представить как множество точек в многомерном пространстве признаков. Это множество точек не всегда имеет четкие границы. Целесообразно называть подобные множества «размытыми», «нечеткими» (Семкин, 1973). Важной особенностью математического моделирования биологических объектов является то, что в нем широко используются понятия, которые с точки зрения чистой математики не являются точно и однозначно определенными.

Такие понятия сейчас принято называть «нечеткими», «размытыми». Содержание размытого понятия может уточняться в процессе исследования. Иногда невозможно или не нужно уточнение нечетких понятий, нечетких множеств на данном уровне знаний и для данного исследования. Нечеткие понятия, множества возникают при субъективной оценке того или иного явления, объекта, при экспертных оценках, с введением субъективной вероятности.

Субъективная вероятность была введена Лапласом и Я. Бернулли в XVII в. Последний сформулировал ее так: «Делать о какой-либо вещи предположение — все равно, что измерить ее вероятность. Вероятность есть степень достоверности и отличается от нее как часть от целого, например $\frac{3}{5}\alpha$, где α или 1 — это полная достоверность» (Бернулли, 1986). Л. Заде (1974) расширил понятие субъективной вероятности Бернулли и ввел понятие размытого множества (формально таким же образом, как и Бернулли), которое служит дедуктивной моделью размытых понятий. С ними мы постоянно сталкиваемся, например: молодой — старый, мало —

много и т. д. Строго математическое определение нечеткого множества дается Л. Заде следующим образом: пусть E — множество (в обычном смысле), a — элемент E , тогда нечеткое множество A определяется как множество упорядоченных пар $A = \{a, \mu(a)\}$ для любого a из E , где $\mu(a)$ — характеристическая функция принадлежности, принимающая свои значения на множестве M . Функция μ указывает уровень или степень принадлежности элемента a множеству A . Множество M называют множеством принадлежностей элемента a (Кофман, 1982). «Навязывание» количественных оценок размытым объектам производит впечатление принципиально неадекватного действия, нарушающего некий «принцип неопределенности», свойственный размытым понятиям» (Блехман и др., 1983). Задавая размытому понятию конкретное число, мы тем самым придаем ему точный смысл. Но применение нечетких множеств может оказаться полезным для решения ряда экологических задач, когда исходные данные не поддаются по тем или иным причинам точному измерению. Определив нечеткие множества, мы можем воспользоваться развитой онтемой идей и методов математики, что приведет к выводам, полезным как в качественном, так и в количественном отношениях.

На наш взгляд, каждый объект геоботанических исследований с набором количественных показателей можно рассматривать как элемент нечеткого множества или как нечеткое множество, так как точно измерить его параметры невозможно, «существует предел точности, поставленный самой природой» (Василевич, 1972). В таком случае мы придем к дублированию всего комплекса математических средств. Лучше вводить понятие размытых множеств, когда показатели изучаемых объектов являются результатом экспертных оценок, имеют смысл субъективной вероятности и т. п.

Таковыми показателями в фитоценологии являются флористические списки с измерением обилия видов по различным качественным шкалам, например, шкалам Друде, Раменского и т. д. Анализируемые нами списки в силу всего вышесказанного можно рассматривать как нечеткие множества, какими по сути они и являются из-за субъективизма при определении балла обилия видов. Каждый список можно рассматривать как множество E — это множество видов с их баллом обилия по шкале Друде. Но по определению нечеткого множества надо найти множество M и функцию принадлежности μ , которая отображает E на M . В данной работе множество M определяется как неравномерная шкала от 0 до 100% или от 0 до 1, а функция μ для вида a находится следующим образом: если вид в сообществе отсутствует, то $\mu(a) = 0$ при обилии $\text{inf } \mu(a) = 1$ и при обилии $\text{sol } \mu(a) = 4$ и т. д. За множество принадлежностей M можно брать и равномерные шкалы, описанные Б. М. Миркиным и Г. С. Розенбергом (1983).

В таком случае исходные данные по сообществам имеют опре-

деленный математический смысл и являются нечеткими множествами. С элементами нечетких множеств можно производить операции сложения, вычитания, вычислять расстояния между центрами и т. д. (Кофман, 1982; Заде, 1974). При таком подходе замена значения обилия вида по шкале Друде (качественные оценки) на значение функции принадлежности μ по неравномерной шкале вполне правомочна. Если множество M содержит только два элемента $M = \{0,1\}$, то мы приходим к четкому множеству по отсутствию (присутствию) видов.

Для определения тесноты связи сообществ можно подсчитать коэффициент корреляции по значениям функции принадлежности μ , как показателя обилия вида. Вычислив матрицу корреляций, имеем прямое произведение совокупности сообществ. Любое подмножество этого произведения есть бинарное отношение, или граф. Задаваясь каким-то порогом для коэффициента корреляции, можно получить плеяды Терентьева, а при определенном алгоритме — дендрограмму или граф сходства. В конечном счете коэффициент корреляции — не что иное, как мера нечеткой линейной связи между изучаемыми сообществами. Следовательно, и матрицу корреляций можно определить как нечеткое прямое произведение множества изучаемых сообществ с функцией принадлежности μ в интервале от 0 до $+1$ по модулю, а любое подмножество корреляционной матрицы — как нечеткий граф (нечеткое бинарное отношение). В последнем случае длина ребер — это значения коэффициента корреляции, которые выступают как функция принадлежности, т. е. каждой паре сообществ ставится в соответствие определенное число из интервала $[0,1]$.

Выше описана следующая модель факторного анализа: $X = A \cdot F$, но так как X — нечеткое множество, то F и A определим как нечеткие множества. В свою очередь, матрица факторных нагрузок также является нечетким графом связи между факторами и исходными признаками (сообществами). Заменяя нулем факторные нагрузки меньше 0,25, получаем граф — бинарное отношение сходства между признаками и факторами.

Но вводя понятие нечеткости, совершенно строгое с математической точки зрения, мы на первый взгляд произвольно трактуем методы математического моделирования фитоценологических объектов. На самом деле это не так. Ведь каждый вид как элемент нечеткого множества принимает значения балла обилия в определенном интервале по значению функции принадлежности. Это дает возможность проводить испытания с помощью ЭВМ, беря значения обилия вида методом случайных чисел из этого интервала, и таким образом проверять устойчивость полученных результатов и выбранной модели путем многократных экспериментов. Тем самым удастся выдержать общий принцип естественных наук по верификации результатов, полученных в процессе моделирования,

экспериментальной проверкой. Математически строгая теория нечетких множеств помогает снять многие методологические проблемы при определении различных показателей, применяемых в фитоценологии, которые по сути своей являются нечеткими, размытыми. Кроме того, современные ЭВМ не могут работать, как человек, с качественными интервальными оценками (Беллман, Заде, 1976); замена последних количественными существенно расширяет возможности использования ЭВМ для математического моделирования в биологии.

Некоторые программы конструирования функций принадлежности для реализации математических моделей с нечеткими множествами на ЭВМ приведены в монографии В. Л. Андреева (1987).

В геоботанической литературе фитоценозы определяются как стохастически-детерминированные системы (Василевич, 1972, 1983; Розенберг, 1984; Джефферс, 1981). Следовательно, для их изучения можно с успехом применять методы математической статистики, которая, в свою очередь, основывается на теории вероятностей (Грейг-Смит, 1967; Pielou, 1977; и др.). В данном случае подразумевается, что результаты геоботанических исследований поддаются описанию теоретико-вероятностными и, стало быть, статистическими моделями. Но так ли это на самом деле?

Для этого надо уточнить основные понятия, которые используются при вероятностном моделировании, дать им четкое недвусмысленное определение и связать эти понятия с моделируемыми объектами геоботаники. Начнем с понятия «стохастический». По А. Н. Колмогорову (1956), это понятие эквивалентно понятию «вероятностно-случайный». Замена в первоначальном определении фитоценоза, как стохастически детерминированной системы, слова «стохастический» на «вероятностно-случайный» приводит философско-диалектическое определение фитоценоза к набору слов — «вероятностно-случайно-детерминированная система». Видимо, в первоначальном определении «что-то не в порядке». Это связано с тем, что в понятия «случайность», «вероятность» вкладывается различный смысл. Существует несколько определений понятий случайности и вероятности, которые в работах по геоботаническому моделированию чаще всего не приводятся и тем более не уточняются.

Начнем с классических определений случайности и вероятности. «Случайность есть то, что может быть или не быть в настоящем, прошлом и будущем» (Бернулли, 1986). Понятие случайности связывается с прогнозом, его количественной оценкой. Вероятность какого-либо случайного события постулировалась из субъективных соображений и определялась отношением числа исходов (m), благоприятствующих событию, к общему числу равновозможных исходов (n): $P(A) = m/n$, где A — случайное событие, P — его вероятность. Классическое определение сводит понятие вероятности

к понятию равновозможности. Оно оправданно тогда, когда существует возможность предсказания вероятности на основе симметрии условий, при которых происходят испытания, и, вследствие этого, симметрии исходов испытания, что и приводит к представлению о «равновозможности», например: бросание монеты, игральной кости и т. д. (Колмогоров и др., 1982). Классическая теория вероятностей имеет дело с вероятностями лишь конечного числа событий, сводится к подсчету элементов того или иного множества и оказывается чисто комбинаторной задачей (иногда весьма трудной). Фундаментальные понятия «события», «испытания (опыта)» возникли в связи с эмпирическим понятием комплекса исходов экспериментов и относятся к начальным, неопределяемым понятиям теории вероятностей.

Классическая теория вероятностей была несовершенна по своей методологии и в свете современных требований к математике должна была быть аксиоматизирована, как геометрия и алгебра. Существует несколько систем аксиоматического построения теории вероятностей, предложенных С. Н. Бернштейном, Р. фон Мизесом, А. Н. Колмогоровым. Авторами преследовались различные цели. Так, основная идея А. Н. Колмогорова при построении математической теории вероятностей — простота системы аксиом и построения из них дальнейшей математической теории. Она основывается на аксиоматизации основных понятий случайного события и вероятности. Всюду, где оказываются выполнены аксиомы теории вероятностей, применимы и следствия из этих аксиом, если даже данная область не имеет ничего общего с реальной случайностью, так как вся математическая теория вероятностей с формальной стороны построена как теория меры, специализированная допущением, что мера «всего пространства» равна единице (Колмогоров, 1956). Поэтому теория вероятностей с успехом применяется в других разделах математики.

В математической теории вероятностей элементарное событие ω определяется как элемент абстрактного множества Ω , конечного или бесконечного. Возникновение элементов этого множества событий аналогично выпадению определенной грани игрального кубика, монеты и т. п. или равновозможному событию классической теории вероятностей. Случайным событием A называется элемент множества F , которое конструируется как некоторое множество подмножеств множества Ω и является алгеброй множеств, т. е. удовлетворяет ряду определений математики. Каждому событию ставится в соответствие некоторая функция P , принимающая значение из отрезка $[0,1]$.

Сокупность объектов (Ω, F, P) , удовлетворяющих системе аксиом математической теории вероятностей, называется полем вероятностей. Что представляют собой эти объекты с точки зрения реального мира, совершенно безразлично для чисто математиче-

ского развития теории вероятностей. Согласно определению поля вероятностей, каждому случайному событию как элементу множества F соответствует определенное число отрезка $[0,1]$, а множеству F случайных событий — некоторая функция P (функция вероятностей). Имея определенное множество случайных событий, можно построить бесконечное число функций P , удовлетворяющих аксиомам теории. Математическая теория вероятностей не дает никаких рекомендаций по выбору функции, наиболее адекватно описывающей случайные события реального мира. Например, каждый фитоценоз характеризуется флористическим списком; формально можно определить все виды по присутствию (отсутствию) как множество элементарных событий Ω , построить алгебру случайных событий F , которая включает в себя как отдельный вид, так и группы видов в качестве случайного события A , и определить множество функций вероятностей по присутствию (отсутствию) вида или группы видов в растительном сообществе. Но в выборе наиболее адекватной функции для нашего реального примера теория вероятностей помочь нам не в состоянии. Это отмечено рядом авторов (Литлвуд, 1978; Тутубалин, 1972, 1973, 1977; и др.). Четко свою позицию по этому вопросу сформулировали А. К. Звонкин и Л. А. Левин (1970): «Это связано с тем, что аксиоматическое построение теории вероятностей на базе теории меры, как чисто математической дисциплины, логически безупречно и ни у кого не вызывает сомнений. Однако для того, чтобы применять эту теорию на практике, нужно четко сформулировать ее физическую интерпретацию. До недавних пор не удавалось найти удовлетворительного решения этой проблемы».

Математическая теория вероятностей работает не только с вероятностями тех или иных событий, но в ней определяется понятие случайной величины, под которой понимают произвольную вещественную функцию на множестве испытаний (экспериментов). От обычной функции она отличается тем, что совокупности принимаемых ею значений ставятся в соответствие вероятностям, с которыми она эти значения принимает (Колмогоров и др., 1982). Так же как в определении поля вероятностей, где случайные события связываются с определенной функцией вероятностей, случайной величине соответствует функция распределения. Называя какую-то величину случайной, мы должны определить для нее абстрактную копию готового распределения вероятностей. В практике геоботанических исследований количественную характеристику, например, обилие вида в изучаемом фитоценозе, называют случайной величиной, но тогда по математической теории вероятностей этой случайной величине надо поставить в соответствие и функцию распределения. Чаще всего постулировать конкретные значения и тип функции распределения мы не можем из-за недостатка информации. Как указывал Л. Г. Раменский (1971), «работу геоботаника можно

уподобить работе следователя: показатели каждого свидетеля ценноз недоуверны и могут быть по-разному истолкованы». Более того, в каждом конкретном случае геоботаник является первооткрывателем, не обладающим априорными гипотезами о законах распределения.

Эмпирическая случайная величина на практике записывается как ряд (протокол) измерений некоторого количественного показателя $\{X(i)\}$, $i=\overline{1,n}$, который упорядочивается по возрастанию величины X и представляет данные в виде вариационного ряда (таблицы) с указанием частот значений величины X , попадающих в определенный интервал. По ранжированному ряду можно построить функцию $F_n(X)$, которая называется эмпирической функцией распределения. Математическая теория вероятностей не имеет хороших изобразительных средств для формализации протоколов измерений величины X и процедур их статистической обработки, а только располагает удобными абстрактными копиями готовых распределений вероятностей и их математических ожиданий (Тутубалин, 1972). Задачи, в которых мы не можем из соображений симметрии, равновозможности постулировать вероятности каких-то событий и функций распределения случайных величин, «являются обратными задачами теории вероятностей, они очень важны для приложений и составляют содержание математической статистики» (Колмогоров и др., 1982). Таким образом, геоботаники считают, что математическая статистика основывается на теории вероятностей, а математики говорят, что статистические задачи теория вероятностей не решает. Логическое заикливание вызвано тем, что в практике геоботанических исследований в основном имеют дело с эмпирическими частотами при вычислении обобщенных показателей по вариационному ряду, в то время как «поведение относительной частоты не привлекается непосредственно к математическому определению вероятностей» (Шметтерер, 1976). Теория вероятностей в аксиоматике А. Н. Колмогорова не отвечает за колебание частот при изменении длины выборки, за эмпирическое распределение и, следовательно, за его параметры, построенные по опытным данным. Она работает с готовыми теоретическими распределениями, с точными, однозначно определенными их параметрами. Теория вероятностей моделирует эмпирическую структуру частотного восприятия. Вероятности вводятся посредством ряда аксиом, абстрагируемых из основных свойств статистических частот, или как предел относительных частот. Предел понимается в математическом смысле как точное, конкретное число, которое приписывается при определенном испытании некоторому случайному событию из поля вероятностей. Для самой теории происхождение функции вероятностей совершенно безразлично, лишь бы она удовлетворяла ряду ее аксиом.

Вместе с тем математическая теория вероятностей имеет широ-

кое применение в различных разделах естественных наук, но для ее использования требуется выполнение определенных условий, предъявляемых к изучаемому объекту исследования, и правил построения функций вероятностей. Необходимо указать комплекс условий S , при котором интересующие нас явления, события, закономерности заведомо происходят или не происходят. Комплекс условий S допускает неограниченное число повторений. Любое событие, в том числе и случайное, непосредственно связано с комплексом условий. При выполнении комплекса условий S некоторые события A могут наступать или не наступать. Эти события в теории вероятностей называют случайными по отношению к S . Событиям A можно поставить в соответствие некоторые числа $P(A/S)$ — вероятности событий, обладающие следующими свойствами:

1. Если комплекс условий S будет повторен большое число n раз и если при этом через m обозначим число случаев, при которых событие A наступило, то отношение m/n будет мало отличаться от $P(A/S)$.

2. Если $P(A/S)$ очень мало, то можно быть практически уверенным, что при однократной реализации условий событие A не будет иметь места (Колмогоров, 1974).

Подразумевается, что для определенного класса случайных испытаний частоты событий при увеличении длины серии испытаний имеют тенденцию стабилизироваться около конкретного числового значения при оговоренном комплексе условий. Способы формирования серий испытаний также будем включать в комплекс условий S . Тем самым оговариваем независимость стабилизации частот от серии испытаний. Тогда предел частот становится вероятностной характеристикой случайного события A . Случайные испытания, состоящие в бросании шестигранного правильного кубика, являются типичным примером стабилизации частот, предел этих частот при удлиняющейся серии испытаний переносят на отдельное испытание и говорят о его вероятности. Она в данном случае равна $1/6$. Систематические опыты такого рода проводились в XVIII—XX вв. преимущественно составителями учебников по теории вероятностей. Распространять подобные эксперименты на аналогичные случаи вряд ли представляет интерес. «Насколько нам известно, никто не производил достаточно обширных опытов с бросанием вырезанного из однородного материала правильного двенадцатигранника. А гораздо чаще гипотеза о вероятности того или иного события вводится на основании соображений симметрии или однородности, а затем эту гипотезу проверяют путем сравнения вытекающих из нее выводов с опытом» (Колмогоров, 1956).

Многие биологические процессы и явления сопровождаются стабилизацией частот некоторых событий, например, частота появления новорожденных определенного пола, частота проявления генотипов при скрещивании и т. п. В этих примерах стабилиза-

ция эмпирических частот доказана многократными экспериментами. Следовательно, за вероятность каждого случайного события можно принять их статистическую вероятность, которая определяется как предел эмпирических частот. «До тех пор, пока относительная частота случайного события в каждой последовательности независимых повторных испытаний приближается к соответствующей вероятности, практическое понятие вероятности может рассматриваться как закон природы» (Корн Г., Корн Т., 1973).

Как уже отмечалось, теория вероятностей не несет никакой ответственности за исходные частоты или вероятности, она занимается вычислением новых величин с помощью математического аппарата на основании исходных вероятностей, которые исследователю приходится не вычислять, а измерять или постулировать. Для того, чтобы моделировать фитоценотические системы, которые почему-то вольно связывают со стохастизмом, требуется много информации, которая не может быть получена из исходных данных для большинства геоботанических задач. Вследствие этого теория вероятностей пригодна только для моделирования узкого класса недетерминированных явлений.

На практике не всегда удается определить вероятность тех или иных случайных событий в фитоценозе. Поэтому фитоценоз правильнее определить не как стохастическую (вероятностно-случайную), а как зашумленную систему.

Р. Е. Калман (1985) так определил зашумленные данные: «Начиная со второй мировой войны среди физиков, инженеров и большинства специалистов-прикладников бытует соглашение, что неточные данные можно рассматривать как данные, возмущенные шумом. При этом под шумом понимаются различные вещи: неточность, ошибки измерений, неизвестные эффекты, случайные эффекты и вообще любые другие отклонения от ситуации с точными данными... Случайность представляет собой интересное поле деятельности для изучения ее самой, но является плохим научным инструментом для работы с зашумленными данными... Природа устроена не в соответствии с правилами игры в кости, рулетки или карточной игры, иными словами, Природа не подчиняется правилам традиционной вероятности».

Глава 2

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

2.1. Флористический состав сообществ

Формирование фитоценозов техногенных ландшафтов определяется сложным переплетением зонально-климатических закономерностей и своеобразием конкретных экологических условий. Как показывает многолетний опыт, из последних важными, в большинстве случаев лимитирующими, являются эдафические условия.

Для сравнительного изучения формирования фитоценозов техногенных ландшафтов Урала и их флористического состава выбраны 10 наиболее характерных объектов в каждой почвенно-климатической зоне: лесной, лесостепной и степной (табл. 1). Растительный покров каждого техногенного объекта охарактеризован серией геоботанических описаний разновозрастных или различных по экологическим условиям участков.

В данном разделе приводится сравнительный анализ флористического состава сообществ техногенных ландшафтов лесной, лесостепной и степной зон Урала. Характеристика природных условий не приводится, так как ее можно найти в специальных работах (Горчаковский, 1968; Колесников, 1963; Кувшинова, 1968; Фирсова, 1977; Чикишев, 1968; и др.). Дополнительная информация по рассматриваемым объектам, связанная с характеристикой химического состава пород, начальных процессов почвообразования, процессов самозарастания, имеется в ряде работ, выполненных в разные годы на нарушенных землях (Беспрозована, 1970; Карташева, 1982; Колесников и др., 1976; Левит, 1970; Левит, Пикалова, 1976; Лукьянец, 1974 а, б, 1975; Лукьянец и др., 1975; Махонина, 1979, 1980, 1987; Махонина и др., 1976 а, б; Махонина, Чибрик, 1974 а, б, 1975, 1978 а, б; Пасынкова, 1974, 1978; Пикалова и др., 1971, 1974; Тарчевский, 1964 а, б, в; Чибрик, Красавин, 1981; Шилова, Зуева, 1969).

В лесной зоне объекты расположены в подзонах средней и южной тайги и на границе с лесостепью. При флористическом анализе они рассматриваются как объекты лесной зоны, где формируются однотипные фитоценозы, преимущественно сосняки и березняки. По форме, породному составу и свойствам субстрата исследуемые объекты различны, территориально разобщены. Сюда вхо-

Таблица 1

Общая характеристика техногенных объектов

Месторождения	Объекты	Породный состав	Шифр
Лесная зона			
Североуральские бокситовые	Карьерно-отвалыные комплексы	Рыхлые породы — глинистые сланцы и глинистые известняки, скальные — известняки различной крепости, серпентиниты, углистые сланцы	Л-1
Веселовско-Богословское бурогольное	Южный Веселовский железнодорожный отвал	Аргиллиты, алевролиты, песчаники с примесью желтых ожелезненных песков, сланцы	Л-2
Басьяновское формовочных песков	Отвалы Басьяновского песчаного карьера	Глинисто-песчаная смесь	Л-3
Естюнинское железорудное	Золототвал Верхне-Тагильской ГРЭС	Зола от сжигания бурых углей Челябинского бассейна и Богословского месторождения	Л-4
Буланашское угольное	Железнодорожный отвал Естюнинского карьера	Породы габбро, сланцы, гнейсы и продукты их выветривания в смеси с алювоальными отложениями и четвертичными суглинками	Л-5
Баженовское хризотил-асбеста	Терриконки шахт	Аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники на глинистом и известняковом цементе	Л-6
Первоуральское титано-магнетитовых железных руд	Отвалы пустых пород и отходов обогащения фабрик	Серпентиниты и продукты их выветривания	Л-7
Билимбаевское флюсовых известняков и доломитов	Отвалы пустых пород и отходов обогащения	Габбро, горнблендиты и продукты их выветривания с различной примесью бурых и пестроцветных глин	Л-8
Черемшанское никелевое	Отвалы пустых пород	Темно-бурый суглинок, песчано-глинистые элювиальные и карстовые отложения, известняк и доломиты различной степени выветренности	Л-9
		Серпентиниты и продукты их выветривания	Л-10

Продолжение табл. 1.

Месторождения	Объекты	Породный состав	Шифр
Челябинский бурогоольный бассейн	Лесостепная зона		
	Коркинский разрез	Аргиллиты, алевролиты, песчанники, углистые сланцы и продукты их выветривания, третичные глины	ЛС-1
	Батуринский разрез	То же	ЛС-2
	Красносельский разрез	»	ЛС-3
	Терриконки шахт	»	ЛС-4
	Автоотвалы		
	Красносельских разрезов	»	ЛС-5
	Коркинский железнодорожный отвал	»	ЛС-6
	Красносельский железнодорожный отвал	»	ЛС-7
	Вскрышные гидроотвалы	»	ЛС-8
Кичигинское формовочных песков	Отвалы пустых пород	Четвертичные суглинки, песчано-гравийный материал, иногда очень глинистый, запесоченные глины	ЛС-9
	Золоотвал Южно-Уральской ГРЭС	Зола от сжигания бурых углей	ЛС-10
Аккермановское флюсовых известняков и хромоникелевых железных руд	Степная зона		
	Отвалы пустых пород	Красно-бурые глины, известняки, кремнезем	С-1
	Отвалы некондиционных железных руд	Темно-бурая, вишнево-красная, охристо-желтая глинистые железные руды	—

Окончание табл. 1

Месторождения	Объекты	Породный состав	Шифр
Новокиевское хромоникелевых железных руд	Отвалы пустых пород	Глины бурые и пестроцветные, ожелезненные суглинки, разрушенный глауконит, кварцевый песчаник, железняк хромистый (руда, охра), каолиновые жирные глины, продукты выветривания серпентинитов	C-2
Магнитогорское железорудное	Отвалы пустых пород	Микрограниты, роговики, диориты, делювиальные красно-бурые глины, мраморы, желтые глины (охры)	C-3
	Отвалы бедных окисленных руд	Окисленные руды в виде сложного комплекса магнетитов, гематитов, сфалеритов и бурых железняков с пониженным содержанием железа	—
Кемпирсайское никелевое	Отвалы пустых пород	Бурые и пестроцветные карбонатные глины с включением гипса, опала, гарниеритов	C-4
	Отвалы некондиционных руд	То же	—
Южноуральское буроугольное	Отвалы пустых пород	Красно-бурые и темно-коричневые четвертичные суглинки, тяжелые третичные, часто запесоченные глины, кварцевый песок, слабосцементированные конгломераты, гравийно-галечные отложения	C-5
Бускульское огнеупорных глин	Отвалы пустых пород и неглубокие выемки	Запесоченные глины	C-6
Кумаковское огнеупорных глин	Отвалы пустых пород	То же	—

дят отвалы пустых пород железнодорожного (Веселовско-Богословское угольное и Естюнинское железорудное месторождения) и автомобильного типа складирования (Басьяновское песчаное, Билимбаевское известняковое, Черемшанское никелевое месторождения). На Баженовском и Первоуральском месторождениях имеются отвалы как железнодорожного, так и автомобильного типа складирования. Это отвалы добывающей промышленности. Своеобразием экологических условий отличаются конические терриконы высотой от 30 до 55 м (Махонина, Чибрик, 1978 б). Из отвалов перерабатывающей промышленности анализируется золоотвал Верхне-Тагильской ГРЭС.

В лесостепной зоне изученные техногенные объекты территориально сближены или непосредственно примыкают друг к другу. В основном это нарушенные земли добывающих предприятий Челябинского угольного бассейна. На угольных месторождениях бассейна добыча ведется открытым и подземным, шахтным способом. Для месторождений с открытыми разработками характерен крупнокарьерно-отвалный вид техногенных ландшафтов (Моторина, Овчинников, 1975; Моторина и др., 1978) либо с внешними (Коркинский и Красносельский разрезы), либо с внешними и внутренними отвалами (Батурицкий разрез). Характерной особенностью этого вида техногенного ландшафта является наличие глубоких карьеров (от 100 до 500 м) площадью до нескольких сотен гектаров, платообразные или гребневидно-платообразные внешние и внутренние отвалы площадью от сотен до нескольких тысяч гектаров. На угольных разрезах Челябинского бассейна преобладают по площади платообразные внешние отвалы железнодорожного и автомобильного типа складирования. В структуре нарушенных земель значительные площади заняты разрезами (карьерами) и гидротвалами углеобогащательных фабрик и установок.

Для предприятий, ведущих добычу угля подземным способом, характерен шахтный просадочно-терриконовый вид техногенного ландшафта. Основными типами нарушенных земель являются конические терриконы. В эту группу вошли отвалы пустых пород Кичигинского месторождения формовочных песков, примыкающие территориально к Красносельскому железнодорожному отвалу, и золоотвал Южно-Уральской ГРЭС.

В степной зоне объектами изучения были отвалы добывающей промышленности: отвалы пустых пород и некондиционных руд железорудных и никелевых месторождений, карьерно-отвалы комплексы месторождений бурогоугольного и огнеупорных глин. Отвалы Магнитогорского железорудного месторождения расположены, согласно ботанико-географическому районированию Урала (Горчаковский, 1968), в лесостепной зоне. Однако пограничное расположение со степной зоной, возвышенное положение рельефа, способствующее ксерофитизации растительности, сильно остепненная

окружающая растительность (луговые степи, остепненные луга) позволили рассматривать отвалы Магнитогорского месторождения в группе объектов степной зоны.

Анализ флористического состава сообществ разновозрастных и различных по эдафическим условиям участков описанных техногенных объектов позволил дать общий список флоры техногенных ландшафтов Урала (см. приложение). Несмотря на многолетнее изучение флористического состава сообществ, формирующихся на охарактеризованных техногенных образованиях, этот список следует рассматривать как первую попытку такого крупного обобщения. Он не может претендовать на абсолютную полноту, так как в нем обобщены данные по сообществам, сформировавшимся на субстрате, пригодном для поселения растений, но малоплодородном. Сюда сознательно не включены отвалы возрастом свыше 70 лет. Естественно, что они имеют свои характерные особенности по свойствам субстрата, но сложены более благоприятными породами.

Если рассматривать, согласно ГОСТ 17.5.1.03—86, пригодность слагающих отвалы и поверхность разрезов (карьеров) пород и грунтосмесей для целей биологической рекультивации, то можно сказать, что старые отвалы сложены пригодными потенциально плодородными породами с различной примесью малопригодных, а рассмотренные нами — малопригодными с примесью непригодных. В грунтосмесях последних нет примеси почвы (а следовательно, и диаспор растений), и формирование растительности на них в процессе самозаращания идет по типу первичных сукцессий в определении их А. П. Шенниковым (1964).

В приложении приведен балл постоянства видов по зонам, который является суммой классов постоянства вида в сообществах 10 техногенных объектов каждой зоны. Принималось 10 классов постоянства: I — 1—10%, II — 11—20%, III — 21—30%, ..., X — 91—100%. Подобным же образом вычислен балл доминирования. Эти показатели в зональном плане, на наш взгляд, достаточно информативны.

Представляет интерес как обобщенное сравнение флористического состава растительных сообществ техногенных ландшафтов Урала по зонам, так и сравнение флор отдельных техногенных объектов одной зоны. Последние больше всего подходят под определение парциальной флоры Б. А. Юрцева, под которой автор понимает «естественные флоры любых экологически своеобразных подразделений ландшафта территории конкретной флоры» (Юрцев, Семкин, 1980). Для большей конкретизации их можно определить как техногенно-парциальные флоры, что подчеркивает причины возникновения экотопа, выделяя его из других, и местонахождение в техногенных ландшафтах. Техногенно-парциальные флоры

могут быть по объему больше парциальных, так как включают все многообразие экотопов техногенного объекта.

Флористический состав сообществ лесной зоны анализируется по флоре 10 объектов (см. табл. 1). В процессе самозараствания в этой зоне формируются, как правило, лесные сообщества с доминированием сосны обыкновенной, березы, ив. Видовое богатство флор отдельных объектов колеблется от 57 до 149 видов и определяется разнообразием экотопов: минимальное — на Естюнинском отвале, максимальное — на золоотвале Верхне-Тагильской ГРЭС (где формируются преимущественно травянистые сообщества). На пяти разных объектах с формированием типичных лесных сообществ колебания видового состава минимальные — от 75 до 88 видов.

Состояние флоры объектов лесной зоны мезофитного типа отражено в табл. 2. Мезофиты составляют от 59,7% на террикониках Буланашского угольного месторождения до 84% на отвалах Первоуральского железорудного месторождения и являются доминантами во всех растительных сообществах. В целом доля мезофитов и ксеромезофитов составляет от 76 до 91% от общего числа видов. Анализ флоры по жизненным формам Раункиера показывает преобладание гемикриптофитов и значительное участие геофитов при доминировании фанерофитов. Исключение составляют терриконики, где формируются исключительно травянистые сообщества.

По способу распространения семян перераспределение структуры флор идет по трем группам: автохоры и барохоры, зоохоры, гемиянемохоры и анемохоры (см. табл. 2). Зоохоры в флористическом составе сообществ, формирующихся по лесному типу, составляют до 27,9% (отвалы и карьеры Североуральского бокситового месторождения). На объектах, где формируются только травянистые, как на террикониках, или преимущественно травянистые, как на золоотвале Верхне-Тагильской ГРЭС, количество зоохоров снижается соответственно до 14,5 и 17,5%. Во всех флорах значительна доля анемохорных и гемиянемохорных видов, причем по мере сформированности (сомкнутости) древесного яруса их относительное число снижается. При этом надо учитывать, что доминанты и большинство видов древесного яруса — анемохоры. Лесные сообщества с древесным ярусом, имеющие сомкнутость на уровне 0,4—0,8, характерны для отвалов Басьяновского песчаного карьера (Л-3), Естюнинского железорудного (Л-5) и асбестовых месторождений (Л-7), где доля видов с анемохорным типом распространения семян составляет 29,4—32%. В сообществах с меньшей сомкнутостью (не выше 0,5) количество таких видов возрастает и достигает 49,4% во флоре терриконикиков с травянистым типом зарастания из-за неблагоприятных экологических условий (коническая форма, сильно каменный субстрат, кислая реакция среды, низкое содержание элементов питания для растений и др.).

В структуре флоры по ландшафтно-зональной принадлежности выделяются три преобладающие группы видов: сорные, лесные и луговые. Количество сорных видов определяется степенью сформированности растительных сообществ, снижаясь на старых сообществах. Значительное влияние при этом оказывают растительность окружающих территорий и свойства субстрата. На Североуральских (Л-1), Южном Веселовском (Л-2), Басьяновском (Л-3), Естюнинском (Л-5) отвалах, окруженных лесом, доля сорных видов даже в сообществах на самых молодых участках отвалов относительно низкая. Доминирование лесных видов на всех изученных объектах, кроме золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС и терриконов, свидетельствует о степени сформированности кустарниково-травянистого яруса. Относительно высокий процент луговых видов обусловлен неполной сомкнутостью древесного яруса и значительной площадью опушенных луговин на старых отвалах, а также высокой долей участия этих видов в растительных сообществах на ранних стадиях их формирования.

Влияние свойств субстрата на структуру флористического состава сообществ иллюстрирует следующий пример. Изучение процессов самозарастания поверхности отвалов, бортов и дна карьеров на Североуральских месторождениях бокситов показало, что интенсивность его зависит от породного состава: отвалы, сложенные скальными породами без существенной примеси рыхлых, практически не зарастают; скальные породы и рыхлые легкого механического состава зарастают преимущественно древесными растениями с преобладанием ценных хвойных пород, таких как лиственница и сосна; отвалы, сложенные скальными породами с незначительной примесью рыхлых, зарастают, в основном, лиственными породами; отвалы, чаще всего навалы верхних слоев вскрыши, сложенные рыхлыми породами тяжелого механического состава (глины средние и тяжелые), зарастают травянистой растительностью. Как правило, первоначально это заросли мать-и-мачехи, иван-чая, бодяка полевого. Древесная растительность на них практически не поселяется. Вероятно, это связано с очень быстрым освоением их поверхности травянистой растительностью, препятствующей поселению деревьев и кустарников.

Для сравнения видового состава флор отдельных объектов использовался индекс общности Чекановского—Сьеренсена (табл. 3), выражавшийся в отношении числа общих видов к среднему арифметическому в двух списках. Высокую степень видовой общности на уровне 0,6 и выше показывают флоры близко расположенных и сходных по свойствам субстрата объектов (Л-1 и Л-2; Л-8 и Л-9), а также флоры старых отвалов с определившимся, в данном случае лесным, типом зарастания (Л-1 и Л-8; Л-1 и Л-9; Л-2 и Л-9), хотя объекты Л-1, Л-2 и Л-8, Л-9 расположены в разных подзонах: первые в подзоне средней, вторые в подзоне южной тайги.

Биоэкологическая структура флор

Группы видов	Л-1		Л-2		Л-3		Л-4	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
							Экоморфа	
Гигрофиты	—	—	2	2,3	3	3,9	8	5,4
Мезогигрофиты	8	9,3	7	8,0	8	10,2	12	8,1
Гигромезофиты	1	1,2	—	—	2	2,6	1	0,6
Мезофиты	62	72,0	64	72,7	59	75,6	100	67,1
Ксеромезофиты	9	10,5	11	12,5	2	2,6	14	9,4
Мезоксерофиты	6	7,0	4	4,5	4	5,1	14	9,4
							Жизненная форма	
Терофиты	7	8,1	6	6,8	4	5,1	36	24,2
Гемикриптофиты	38	44,2	44	50,0	31	39,8	64	42,9
Геофиты	27	31,4	29	33,0	32	41,0	39	26,2
Хамефиты	2	2,3	—	—	—	—	2	1,3
Фанерофиты	12	14,0	9	10,2	11	14,1	8	5,4
							Способ распространения	
Автохор, барохор	23	26,8	23	26,2	22	28,2	47	31,5
Баллист	3	3,5	1	1,1	6	7,7	14	9,4
Зоохор	24	27,9	20	22,7	18	23,1	26	17,5
Гемнаномахор	21	24,4	27	30,7	13	16,7	32	21,5
Анемахор	13	15,1	14	15,9	12	15,3	23	15,4
Прочие	2	2,3	3	3,4	7	9,0	7	4,7
							Ландшафтно-зональная	
Влажные луга	1	1,2	1	1,1	2	2,6	4	2,7
Сорные	18	20,9	23	26,2	12	15,3	61	40,9
Лесные	21	24,4	20	22,7	27	34,6	15	10,1
Луговые	38	44,2	36	40,9	31	39,8	56	37,6
Лугово-степные	8	9,3	8	9,1	6	7,7	13	8,7

Проведенный систематический анализ флор по видовому и родовому разнообразию семейств на основе коэффициентов Чекановского—Сьеренсена, как и следовало ожидать, показал высокую степень сходства (табл. 4, 5) для большинства объектов. Судя по этим данным, определенное своеобразие проявляется в флористическом составе растительных сообществ золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС (самое высокое видовое богатство).

Использование индексов сходства позволяет сравнить попарно флору двух объектов. Для сопоставления всех флор зоны использовался метод главных компонент.

Основой для сравнения флористических списков методом главных компонент является корреляционная матрица (табл. 6). Сравнение проводилось с учетом обилия видов и балла постоянства. Балл постоянства отражает частоту присутствия вида и равен сумме классов постоянства 10 взятых для анализа объектов, та-

Таблица 2

техногенных объектов лесной зоны

Л-5		Л-6		Л-7		Л-8		Л-9		Л-10	
Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
(гидроморфа)											
—	—	2	3,2	1	1,3	—	—	—	—	2	2,0
5	9,8	2	3,2	2	2,6	2	2,9	3	4,0	7	7,2
—	—	—	—	1	1,3	—	—	—	—	2	2,0
41	80,4	37	59,7	59	75,6	59	84,3	55	73,4	67	68,4
2	3,9	13	21,0	10	12,8	5	7,1	10	13,3	12	12,2
3	5,9	8	12,9	5	6,4	4	5,7	7	9,3	8	8,2
по Раункьеру											
3	5,9	12	19,4	16	20,5	4	5,7	9	12,0	8	8,2
21	41,2	29	46,8	38	48,7	32	45,7	35	46,7	49	50,0
20	39,2	18	29,0	16	20,5	23	32,0	20	26,7	32	32,6
—	—	3	4,8	1	1,3	1	1,4	1	1,3	1	1,0
7	13,7	—	—	7	9,0	10	14,3	10	13,3	8	8,2
семян											
15	29,4	13	21,0	27	34,6	23	32,9	18	24,0	27	27,6
6	11,8	7	11,3	4	5,1	3	4,3	8	10,7	7	7,1
10	19,6	9	14,5	19	24,4	15	21,4	19	25,3	20	20,4
8	15,7	21	33,9	14	17,9	15	21,4	18	24,0	22	22,4
7	13,7	9	14,5	11	14,1	13	18,6	10	13,3	19	19,4
5	9,8	3	4,8	3	3,9	1	1,4	2	2,7	3	3,1
принадлежность											
1	2,0	1	1,6	1	1,3	—	—	—	—	1	1,0
7	13,7	34	54,9	41	52,6	18	25,7	23	30,7	29	29,6
15	29,4	2	3,2	9	11,5	18	25,7	17	22,6	18	18,4
21	41,2	18	29,0	18	23,1	26	37,2	23	30,7	37	37,7
7	13,7	7	11,3	9	11,5	8	11,4	12	16,0	13	13,3

ким образом, максимальный балл постоянства 100. Он показывает, что вид присутствует во всех описаниях. Постоянство (класс постоянства) вида определялось по количеству ценозов, в которых имеется данный вид, и выражалось в % от общего количества описанных ценозов (Шенников, 1964). Естественно, что коэффициенты корреляции флор с учетом балла постоянства видов выше, чем с учетом их обилия, и более близки по значению к индексам сходства Чекановского—Сьеренсена, который учитывает отношение общих видов к среднему арифметическому числу видов в двух списках (рис. 3).

Сравнение флор отдельных объектов методом главных компонент позволило определить нагрузки по двум факторам (табл. 7). В соответствии с величиной факторных нагрузок флоры отдельных объектов разделились на три группы, особенно четко с учетом обилия видов. Первую группу составляют флоры Л-1, Л-2, Л-3,

Таблица 3

Коэффициенты сходства флор техногенных объектов лесной зоны

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10	Среднее
Л-1		0,61	0,51	0,48	0,47	0,41	0,44	0,60	0,63	0,55	0,52
Л-2	53		0,55	0,47	0,42	0,39	0,47	0,58	0,67	0,49	0,52
Л-3	42	46		0,37	0,45	0,26	0,33	0,53	0,46	0,42	0,43
Л-4	56	56	42		0,34	0,43	0,53	0,52	0,54	0,53	0,46
Л-5	34	29	29	34		0,28	0,39	0,53	0,51	0,46	0,43
Л-6	30	29	18	45	16		0,51	0,44	0,44	0,45	0,40
Л-7	36	39	26	60	25	36		0,49	0,54	0,48	0,46
Л-8	47	46	39	57	32	29	36		0,66	0,55	0,54
Л-9	51	48	35	60	32	30	41	48		0,53	0,55
Л-10	51	46	37	66	34	36	42	46	46		0,50
Общее число видов	86	88	78	149	51	62	78	70	75	98	

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты сходства Чекановского—Сьеренсена, в нижней — число общих видов.

Таблица 4

Коэффициенты сходства флор техногенных объектов лесной зоны по видовому разнообразию семейств

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10
Л-1	70	0,80	0,80	0,64	0,62	0,66	0,72	0,80	0,86	0,78
Л-2	65	65	0,78	0,68	0,58	0,68	0,74	0,78	0,82	0,82
Л-3	75	81	68	0,60	0,64	0,62	0,70	0,84	0,82	0,80
Л-4	42	41	41	44	0,44	0,46	0,66	0,62	0,64	0,74
Л-5	48	52	44	60	29	0,50	0,56	0,62	0,66	0,64
Л-6	58	62	55	75	37	54	0,76	0,66	0,70	0,70
Л-7	62	62	62	68	38	44	54	0,72	0,76	0,78
Л-8	68	67	63	71	42	48	58	63	0,86	0,76
Л-9	70	76	70	91	48	56	68	61	67	0,78
Л-10										
Общее число видов	84	89	78	148	51	62	78	70	75	97

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты сходства Чекановского—Сьеренсена, в нижней — общее число видов по семействам.

Л-5 — с лесным типом зарастания, где высокие нагрузки по 1-му фактору обеспечила группа лугово-лесных видов. Вторая группа (Л-8, Л-9, Л-10) — переходная, а третью группу составляют флоры, высокие факторные нагрузки в которых (фактор 2) обеспечили сорные виды, что подтверждается соотношением ценотических групп (см. табл. 2).

Многие авторы отмечают перспективность применения метода главных компонент для анализа геоботанических данных, подчер-

Таблица 5

**Коэффициенты сходства флор техногенных объектов лесной зоны
по родовому разнообразию семейств**

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10	Среднее
Л-1		0,78	0,78	0,68	0,66	0,70	0,74	0,78	0,84	0,78	0,75
Л-2	54		0,82	0,72	0,62	0,72	0,76	0,78	0,92	0,84	0,77
Л-3	52	55		0,64	0,68	0,66	0,72	0,80	0,84	0,80	0,73
Л-4	59	64	55		0,46	0,64	0,74	0,68	0,66	0,78	0,66
Л-5	36	35	36	35		0,50	0,56	0,62	0,72	0,56	0,63
Л-6	43	46	40	52	25		0,76	0,66	0,70	0,74	0,71
Л-7	50	53	48	65	31	47		0,76	0,76	0,80	0,74
Л-8	48	50	48	55	31	37	47		0,88	0,76	0,79
Л-9	53	55	52	55	36	41	49	51		0,78	0,70
Л-10	58	63	58	72	35	50	59	51	54		0,72
Общее число родов	67	70	64	106	43	56	68	56	60	79	

* Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты сходства Чекановского—Сьеренсена, в нижней — общее число родов по семействам.

Таблица 6

Корреляционная матрица флор техногенных объектов лесной зоны

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10
Л-1		0,47	0,42	0,16	0,37	0,17	0,17	0,40	0,41	0,36
Л-2	0,63		0,49	0,25	0,34	0,22	0,26	0,49	0,44	0,34
Л-3	0,56	0,54		0,08	0,48	0,05	0,18	0,40	0,39	0,33
Л-4	0,41	0,39	0,22		0,13	0,22	0,27	0,28	0,39	0,19
Л-5	0,56	0,54	0,53	0,34		0,12	0,24	0,39	0,46	0,48
Л-6	0,23	0,26	0,05	0,47	0,21		0,32	0,25	0,30	0,22
Л-7	0,44	0,48	0,30	0,47	0,45	0,42		0,34	0,46	0,35
Л-8	0,61	0,60	0,60	0,43	0,63	0,32	0,55		0,52	0,38
Л-9	0,60	0,58	0,45	0,62	0,55	0,43	0,55	0,65		0,46
Л-10	0,53	0,43	0,39	0,44	0,48	0,33	0,49	0,56	0,52	
Общее число видов	86	88	78	149	51	62	78	70	75	98

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты корреляции с учетом обилия видов, в нижней — с учетом их постоянства.

кивая при этом, что основная трудность его употребления в биологической интерпретации факторов (Грейг-Смит, 1964; Василевич, 1969, 1972; Миркин, Розенберг, 1976; и др.). Опыт использования этого метода для сравнения флористических списков техногенных объектов дает возможность более глубокого их рассмотрения по сравнению с общепринятыми методами флористического анализа. В данном случае первый фактор отражает влияние общих зонально-климатических условий, которые обуславливают лесной тип за-

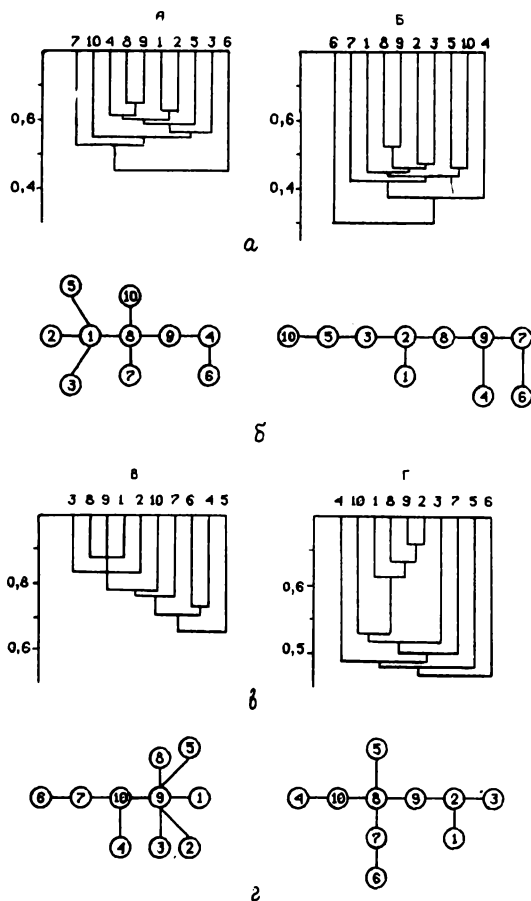


Рис. 3. Дендрограммы (а, б) и графы сходства (б, г) флор техногенных объектов лесной зоны:

А, Б — по коэффициентам корреляции с учетом постоянства (А) и обилия (Б) видов; В, Г — на основе коэффициентов Чекановского—Сьерсенсена по видовому и родовому разнообразию семейств (В) и видовой общности (Г); 1 — карьерно-отвалы комплексы Североуральских бокситовых месторождений; 2 — Южный Веселовский отвал; 3 — отвалы Басьяновского песчаного карьера; 4 — золоотвал Верхне-Тагильской ГРЭС; 5 — отвал Естюнинского железорудного месторождения; 6 — терриконы шахт Вуланашского угольного месторождения; 7 — отвалы Баженовского хризотил-асбестового месторождения; 8 — отвалы Первоуральского железорудного месторождения; 9 — отвалы Билимбаевского месторождения известняков и доломитов; 10 — отвалы Черемшанского никелевого месторождения

растения в рассматриваемой зоне, второй — своеобразных экологических, в первую очередь эдафических, условий (см. табл. 7, рис. 3). По второму фактору с высокими значениями факторных на-

Таблица 7

**Факторные нагрузки флор
техногенных объектов лесной зоны
с учетом обилия и постоянства видов**

Объект	Обилие видов		Объект	Постоянство видов	
	Фактор 1	Фактор 2		Фактор 1	Фактор 2
Л-3	0,80	0*	Л-3	0,85	0
Л-5	0,72	0	Л-1	0,77	0,27
Л-1	0,70	0	Л-8	0,76	0,38
Л-2	0,68	0	Л-5	0,75	0
Л-8	0,61	0,40	Л-2	0,74	0,29
Л-10	0,58	0,33	Л-9	0,58	0,61
Л-9	0,57	0,56	Л-10	0,53	0,49
Л-7	0	0,69	Л-6	0	0,84
Л-6	0	0,69	Л-4	0	0,77
Л-4	0	0,66	Л-7	0,41	0,64

* Факторная нагрузка $< 0,25$.

грузок выделились флоры отвалов, имеющих специфический субстрат: асбестовых отвалов (Л-7), террикоников (Л-6), золоотвалов (Л-4) и известняковых и доломитовых отвалов (Л-9), сложенных щебенкой этих пород с небольшой примесью рыхлых песчано-глинистых карстовых отложений. Сильной каменистостью характеризуются и терриконники. Своеобразие свойств золы, как субстрата для растений, охарактеризовано М. В. Пасынковой (1974). Общей отличительной чертой отвалов со специфическим субстратом, как местообитаний для растительности, является их относительная «ксероморфность», связанная с малой водоудерживающей способностью и высокой водопроницаемостью. На этих отвалах формируются преимущественно травянистые растительные сообщества.

Значения коэффициентов корреляции с учетом постоянства видов выше, чем при учете их обилия (см. табл. 6). Это свидетельствует о том, что видовой состав флор более стабилен. Обилие видов в сообществах, сформированных на техногенных объектах лесной зоны, сильно меняется. В целом структурность корреляционных матриц выше, чем матриц коэффициентов сходства (см. рис. 3). Метод главных компонент посредством вычисления факторных нагрузок по флорам отдельных техногенных образований еще больше усиливает эту структурность. На основе корреляционной матрицы вычисляются факторные нагрузки отдельных флор. При дифференциации флор по факторным нагрузкам происходит минимизация до двух главных компонент, содержащих 65% общей дисперсии по 10 флорам, редуцируются малоинформативные по дисперсии факторы. Выделяются два ортогональных направления формирова-

ния растительных сообществ на рассмотренных объектах — лесной и травянистый тип. Взаиморасположение флор техногенных объектов можно изобразить геометрически, когда нагрузки по двум ортогональным главным компонентам принимаются за координаты, определяющие положение изученных флор в факторном пространстве (рис. 4). Расположение флор практически не различается при проведении анализа с учетом постоянства или обилия видов.

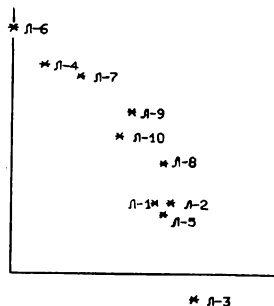


Рис. 4. Взаиморасположение флор техногенных объектов лесной зоны в факторном пространстве: Л-1 — карьерно-отвальные комплексы Североуральских бокситовых месторождений; Л-2 — Южный Веселовский отвал; Л-3 — отвалы Басьяновского песчаного карьера; Л-4 — золоотвал Верхне-Тагильской ГРЭС; Л-5 — отвал Естюнинского железорудного месторождения; Л-6 — терриконы шахт Буланашского угольного месторождения; Л-7 — отвалы Баженовского хризотил-асбестового месторождения; Л-8 — отвалы Первоуральского железорудного месторождения; Л-9 — отвалы Билимбаевского месторождения известняков и доломитов; Л-10 — отвалы Черемшанского никелевого месторождения

ние между этими двумя крайними типами. Степень связи изученных флор зафиксирована их координатами в факторном пространстве (см. рис. 4).

С флорами техногенных объектов, выделившимися по первому или второму факторам, связана группа видов, имеющих высокие (>1) нагрузки по этим факторам, и виды с высоким классом постоянства (ингредиенты) или высоким баллом обилия хотя бы в одном или нескольких сообществах (доминирующие виды). Флора изученных техногенных ландшафтов включает 264 вида, из них доминирование отмечено для 80 видов.

Анализ величины нагрузок по факторам (табл. 8) показал высокую их адекватность относительной роли видов в растительных

Наиболее характерной из формирующихся по лесному типу сообществ является флора отвалов Басьяновского песчаного карьера (Л-3), близки к ней флоры отвалов Североуральских бокситовых месторождений (Л-1) и Южного Веселовского отвала (Л-2). Эти отвалы окружены лесом, а растительность на них представлена сосняками различной степени сформированности. Своего рода противоположным типом является флора терриконов (Л-6), близко с ней связана флора золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС (Л-4). На террикониках формируются травянистые растительные группировки даже при близком расположении леса. На золоотвале, особенно в понижениях, преобладают травянистые растительные сообщества. Флористический состав сообществ остальных техногенных объектов занимает промежуточное положение

Таблица 8

Факторные нагрузки доминирующих видов и ингредиентов флор
техногенных объектов лесной зоны

Вид	Обилие видов		Постоянство видов	
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2
<i>Achillea millefolium</i>	1,48	0,68	3,38	2,16
<i>Aegopodium podagraria</i>	0,70	-0,79	0,58	-1,07
<i>Agrostis gigantea</i>	-1,12	3,27	0 *	0,64
<i>Antennaria dioica</i>	2,07	-1,80	0	-0,98
<i>Arctium tomentosum</i>	-0,79	0,95	-0,56	0,83
<i>Artemisia absinthium</i>	-0,60	3,65	-1,26	4,19
<i>A. austriaca</i>	-1,18	1,12	-0,68	0
<i>A. marschalliana</i>	-1,25	1,13	-0,76	0
<i>A. sieversiana</i>	0	0,50	0	0,54
<i>A. vulgaris</i>	0	2,97	-0,90	2,97
<i>Atriplex tatarica</i>	-0,78	0	-0,77	0,54
<i>Axyris amaranthoides</i>	-0,82	0	-1,17	2,80
<i>Berteroa incana</i>	-0,72	0,70	-0,93	1,64
<i>Betula pendula</i>	2,96	0	3,56	0,68
<i>Calamagrostis epigeios</i>	1,40	1,36	0,61	1,81
<i>C. neglecta</i>	1,06	-1,55	0,76	-1,18
<i>Carduus nutans</i>	-0,70	0	-1,23	1,21
<i>Centaurea scabiosa</i>	1,01	1,08	-0,99	0,87
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>	2,42	-0,53	3,26	-0,99
<i>Chamaerion angustifolium</i>	2,84	1,68	4,16	2,21
<i>Chenopodium album</i>	0	1,99	-0,68	2,74
<i>Cirsium arvense</i>	1,04	2,34	2,17	1,64
<i>Convolvulus arvensis</i>	-1,43	1,82	-0,68	0
<i>Crepis tectorum</i>	0	0,86	0	2,00
<i>Deschampsia caespitosa</i>	1,49	1,53	2,17	1,25
<i>Dracocephalum thymiflorum</i>	-0,60	0	-0,71	0,54
<i>Elytrigia repens</i>	1,04	4,55	0	2,75
<i>Equisetum sylvaticum</i>	1,01	-0,57	0,63	0,93
<i>Erigeron acris</i>	0	0	-0,88	1,20
<i>Erysimum cheiranthoides</i>	0,52	0,65	-0,91	3,10
<i>Festuca rubra</i>	3,55	3,00	1,66	2,43
<i>Fragaria vesca</i>	1,68	0,66	2,37	0
<i>Galium boreale</i>	1,03	0	0,53	0

Продолжение табл. 8

Вид	Обилие видов		Постоянство видов	
	фактор 1	фактор 2	фактор 1	фактор 2
<i>Geranium sylvaticum</i>	0,84	0	0,77	-0,70
<i>Gypsophila paniculata</i>	-1,25	1,13	-0,90	0
<i>Hordeum brachyantherum</i>	0	1,40	-0,52	-1,14
<i>Larix sibirica</i>	0,68	-0,83	1,03	-0,95
<i>Lappula squarrosa</i>	0	2,17	-1,20	3,83
<i>Lathyrus platensis</i>	2,55	0	3,03	0
<i>L. vernus</i>	1,02	-1,34	0,87	-1,10
<i>Leontodon autumnalis</i>	0	0	0	1,00
<i>Lepidium ruderae</i>	1,19	0,66	2,37	2,24
<i>Leucanthemum vulgare</i>	0,79	0	0,88	0,80
<i>Linaria vulgaris</i>	0,77	1,66	0	4,47
<i>Melandrium album</i>	-0,51	0,86	-0,91	1,47
<i>Melilotus albus</i>	0	3,10	-0,67	1,42
<i>M. officinalis</i>	-1,17	2,03	-1,03	1,10
<i>Oberna behen</i>	0	0,89	0	1,56
<i>Pastinaca sylvestris</i>	-1,19	1,10	-1,00	0,70
<i>Picea abies</i>	1,24	-1,03	2,08	-1,56
<i>Pinus sylvestris</i>	6,07	-1,28	4,56	0
<i>Plantago media</i>	0	0	0	0,82
<i>Poa pratensis</i>	1,72	4,41	2,37	1,84
<i>P. trivialis</i>	2,49	0	1,92	0
<i>Polygonum aviculare</i>	0	1,57	-0,83	2,48
<i>P. hidropiper</i>	-1,18	1,42	-0,75	0
<i>Populus tremula</i>	2,00	0	2,64	0
<i>Potentilla anserina</i>	0	2,32	0	1,23
<i>P. erecta</i>	0,97	0	0,71	0
<i>Puccinellia hauptiana</i>	0	1,65	0	0,80
<i>Ranunculus auricomus</i>	0	-0,72	0,63	-1,29
<i>Rubus idaeus</i>	1,52	0	1,26	-0,55
<i>R. saxatilis</i>	1,68	-0,66	1,22	-0,79
<i>Rumex confertus</i>	-0,50	0,70	-1,19	1,77
<i>R. crispus</i>	0,57	0,51	0,51	1,63
<i>Salix caprea</i>	1,90	0,82	3,80	1,31
<i>Sanguisorba officinalis</i>	0,76	0	0,81	0

Вид	Обилие видов		Постоянство видов	
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2
<i>Solidago virgaurea</i>	1,53	-0,75	1,99	-0,99
<i>Sonchus arvensis</i>	-0,54	0,71	-1,32	1,84
<i>Sorbus aucuparia</i>	0,70	-0,78	1,17	-0,92
<i>Stellaria graminea</i>	0,58	0,77	0	1,60
<i>S. holostea</i>	0	-1,10	0,71	-1,39
<i>Tanacetum vulgare</i>	1,32	-0,59	1,56	-0,95
<i>Taraxacum officinale</i>	1,07	1,75	2,42	2,57
<i>Tussilago farfara</i>	1,20	4,59	2,97	3,59
<i>Trifolium lupinaster</i>	0,50	0	0,90	-0,87
<i>T. medium</i>	2,85	-1,17	1,40	0
<i>T. pratense</i>	4,85	0,84	3,36	1,24
<i>T. repens</i>	3,44	0	2,95	1,11
<i>Urtica dioica</i>	-1,02	2,33	-1,04	1,46
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2,37	-1,56	0,78	-1,06
<i>Veronica chamaedrys</i>	0	-0,85	0	-1,03
<i>Vicia cracca</i>	1,41	0,81	1,18	1,04
<i>V. sepium</i>	0,68	-0,48	1,49	-1,08
<i>V. sylvaticum</i>	1,61	-1,18	2,60	-1,82
<i>Viola canina</i>	1,60	0	1,88	-0,68

* Факторная нагрузка по абсолютной величине $> 0,5$.

сообществах техногенных ландшафтов лесной зоны. Следует подчеркнуть высокую разрешающую способность и чувствительность метода. Учет факторных нагрузок позволяет достаточно подробно описать роль каждого вида. В данном случае мы имеем дело с удачным сочетанием метода анализа и объекта изучения. С одной стороны, метод главных компонент основан на учете корреляционной связи флор отдельных техногенных объектов. С другой стороны, своеобразие экологических условий, в первую очередь эдафических, предопределяет наличие экотопического отбора, начиная с самых ранних стадий формирования фитоценозов в техногенных ландшафтах. В таком случае фитоценоз выступает интегральным ответным показателем на влияние этого нерасчлененного комплекса экологических условий, в котором иногда возможно выделить лимитирующие факторы. Следовательно, можно говорить о корреляционной зависимости флористического состава сообществ «старых» техногенных объектов, т. е. имеющих участки, вышедшие из сферы техногенного воздействия несколько десятков лет назад, от экологических условий. Это удобно проследить, так как исследования, связанные с биологической рекультивацией, обычно предполагают подробное изучение свойств субстрата. К тому же речь идет о фло-

ристическом составе сообществ, а не о флорах как таковых. При составлении флористических списков отдельных техногенных объектов через постоянство и обилие отражается присущая сообществам коррелятивная связь видов, которая выявляется при факторизации методом главных компонент. Каждый список характеризует флору фитоценозов сукцессионного ряда, так как участки на поверхности большинства отвалов — разновозрастные, а серии описаний представляют собой пространственный ряд сериальных фитоценозов.

Обобщая результаты анализа, можно утверждать, что для флор техногенных объектов, выделившихся по первому фактору, определяющим является комплекс зонально-климатических условий. Это и понятно, ведь большинство отвалов зоны или поверхность карьеров Североуральских бокситовых месторождений сложены пригодными для формирования лесных фитоценозов породами. Сильная каменистость части территории компенсируется достаточным количеством осадков при температурном дефиците. По второму фактору выделились флоры техногенных объектов, крайним типом которых являются травянистые фитоценозы террикоников. Определяющим (лимитирующим) для этой группы объектов является комплекс эдафических условий при сложном, часто опосредованном его воздействии (неблагоприятные водно-физические условия, своеобразный химический состав и др.). Дифференциация видов по факторным нагрузкам (в той и другой группе объектов) дает нам гипотетическую структуру выделившихся почти диаметрально противоположных флор, а факторные нагрузки видов показывают их относительную роль в этих гипотетических флорах.

Например, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) является монодоминантом в большинстве сообществ техногенных ландшафтов с лесным типом зарастания. Факторная нагрузка ее в группе видов первого фактора максимальная — 6,07 (см. табл. 8). Значимыми являются и отрицательные величины нагрузок, так как здесь важно не абсолютное, а относительное значение. По сути дела, отрицательное значение факторной нагрузки для сосны при анализе с учетом обилия видов характеризует степень «невозможности» доминирования ее в растительных сообществах техногенных объектов, выделившихся по второму фактору.

Береза повислая (*Betula pendula*) встречается в растительных сообществах всех техногенных объектов, флоры которых выделились по первому фактору, иногда является доминантом и содоминантом. Фитоценотическая роль ее в сообществах техногенных ландшафтов лесной зоны ниже по сравнению с сосной. В то же время она более постоянна в сообществах техногенных объектов, выделившихся по второму фактору, хотя встречается редко и единично. В целом по зоне балл постоянства березы 59, а балл доминирования 7 (см. приложение).

Флористический состав сообществ техногенных ландшафтов ле-

состепной зоны анализируется по 10 объектам, восемь из которых представляют собой разнотипные нарушения на месторождениях Челябинского угольного бассейна. Как многократно подчеркивалось (Махонина, Чибрик, 1974 б; Колесников и др., 1976; и др.), тип нарушения и даже способ складирования отвалов (железнодорожные, гидро- и автоотвалы), наряду со свойствами субстрата, определяют темп и интенсивность естественного зарастания. Для анализа флористического состава выбраны растительные сообщества трех буроугольных разрезов (см. табл. 1), крупнейший из которых, Коркинский, имеет глубину около 500 м, площадь по дневной поверхности свыше 700 га. Для открытых разработок характерен карьерно-отвальный вид ландшафта с внешними, внутренними или с внешними и внутренними отвалами. Кроме разрезов анализируется флористический состав сообществ Коркинского и Красносельского железнодорожных отвалов, вскрышных гидроотвалов Батуринского и Красносельского разрезов, автоотвалов Красносельских разрезов и 11 терриконигов. Наряду с этим анализируется флора отвалов Кичигинского месторождения формовочных песков и золоотвала Южно-Уральской ГРЭС.

Территориально все выбранные объекты расположены в непосредственной близости, поэтому зонально-климатические условия можно признать одинаковыми. Сходны по свойствам субстрата объекты угольных месторождений. В этом отношении можно выделить Батуринский разрез, где на поверхности значительно примесь засоленных пород. Относительное богатство флоры указанных терриконигов обусловлено флористическим составом растительных сообществ 11 терриконигов, расположенных по всей территории бассейна. Степень сформированности (стадия формирования) растительных группировок различна. Дополнительные сведения о свойствах субстрата и своеобразии экологических условий имеются по Коркинскому разрезу (Чибрик, Красавин, 1981, 1983), отвалам Челябинского угольного бассейна (Колесников и др., 1976), терриконигам (Махонина, Чибрик, 1978 б), гидроотвалам (Махонина, Чибрик, 1974 а), отвалам Кичигинского месторождения формовочных песков (Лукьянец и др., 1975) и золоотвалу Южно-Уральской ГРЭС (Беспрозвана, 1970; Пикалова и др., 1971). Видовое богатство флор техногенных объектов колеблется от 39 до 146 на Коркинском угольном разрезе, и так же, как и в лесной зоне, определяется разнообразием экотопов по свойствам субстрата, рельефу, водному режиму. Наибольшее разнообразие экотопов свойственно разрезам, обладающим сложным рельефом, наличием переувлажненных местообитаний из-за выхода подземных грунтовых вод и большим разнообразием свойств пород, слагающих поверхность. В качестве примера можно сослаться на характеристику экологических условий Коркинского угольного разреза. Разрезы характеризуются и своеобразным микроклиматом (Силин, 1967, 1970 а, б).

Из трех изученных флора Красносельского разреза самая бедная. Это связано с однотипностью экотопов обследованной территории разреза.

В лесостепной зоне флоры техногенных ландшафтов более ксерофитны по сравнению с таковыми лесной зоны (табл. 9). Процент мезофитов на всех изученных объектах не превышает 49, для ксеромезофитов колеблется от 18 до 33. При этом существенно возрастает доля видов ксерофитной группы (суммарно мезоксерофиты и ксерофиты), которые составляют от 21 до 30% от общего числа видов. Значительна доля ксеромезофитов (от 18 до 33%). По жизненным формам абсолютное и относительное преобладание принадлежит гемикриптофитам (рис. 5), на втором месте стоят терофиты.

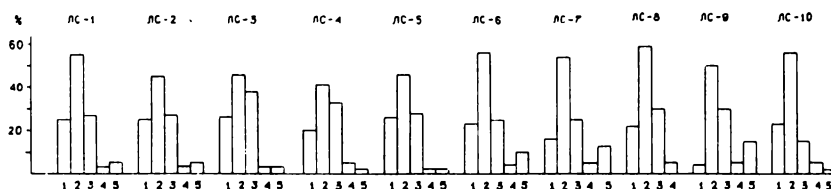


Рис. 5. Структура флор техногенных объектов лесостепной зоны по жизненным формам Раункиера:

ЛС-1 — Коркинский разрез; ЛС-2 — Батуринский разрез; ЛС-3 — Красносельский разрез; ЛС-4 — терриконки шахт; ЛС-5 — автоотвалы Красносельских разрезов; ЛС-6 — Коркинский железнодорожный отвал; ЛС-7 — Красносельский железнодорожный отвал; ЛС-8 — вскрышные гидроотвалы; ЛС-9 — отвалы Кичи-гинского месторождения формовочных песков; ЛС-10 — золоотвал Южно-Уральской ГРЭС; 1 — терофиты; 2 — гемикриптофиты; 3 — геофиты; 4 — хамефиты; 5 — фанерофиты

Доля геофитов от общего числа невелика. По способу распространения семян преобладают гемиянемохоры, которые вместе с анемохорами составляют от 42 до 54% от общего числа видов. Анализ флор техногенных объектов по соотношению ценотических групп показывает большую степень участия сорных (от 30 до 52%) и луговых и лугово-степных видов (в сумме от 31 до 46%).

Сравнение флор техногенных объектов лесостепной зоны по коэффициентам Чекановского—Сьеренсена (табл. 10) показывает высокий уровень видового сходства (около 0,5 и выше). Исключение составляет флора Красносельского разреза и автоотвалов, что в значительной мере объясняется бедностью их видового состава. Территориальная близость обуславливает слабую дифференциацию коэффициентов сходства в разнообразии семейств по родам и видам (табл. 11, 12).

Дендрограммы и графы сходства, построенные на основе матриц коэффициентов сходства и корреляционной, позволяют выявить группировку флор и структуру в группах (табл. 13, рис. 6). Дендрограммы показывают также слабую кластеризацию флор разных объектов, особенно по коэффициентам сходства. На дендрограмме по корреляционной матрице с учетом постоянства видов просмат-

ривается более тесная группировка флор 5 объектов (ЛС-1, ЛС-4, ЛС-6, ЛС-7, ЛС-8), центром графа является флора Красносельского железнодорожного отвала.

Метод главных компонент позволяет усилить дифференциацию, но на таком уровне видového сходства при анализе с учетом балла постоянства видов выделился один главный фактор, а факторные нагрузки образовали убывающий ряд расположения флор техногенных объектов (табл. 14). Наиболее типичным («средним») является флористический состав сообществ Красносельского железнодорожного отвала, противоположный конец ряда занимает флора золоотвала Южно-Уральской ГРЭС. На первых стадиях формирования сообществ техногенных ландшафтов в одинаковых зонально-климатических условиях определяющими являются занос диаспор и экотопический отбор. Условия заноса семян для всех техногенных объектов более или менее сходны, но эдафические условия золоотвала и террикоников отличаются своеобразием, более ксероморфными условиями. На последних двух объектах степень сформированности сообществ на отдельных участках ниже. Это и отразилось при анализе методом главных компонент с учетом обилия видов (см. табл. 14). Флоры золоотвала и террикоников выделились по второму фактору. Еще нагляднее графическое изображение взаиморасположения флор отдельных техногенных объектов по координатам в факторных осях (рис. 7), которое отражает степень сформированности сообществ и условия увлажнения. Наличие во флоре Коркинского, Батуринаского разрезов, отвалов Кичигинского месторождения формовочных песков (соответственно ЛС-1, ЛС-2 и ЛС-9) мезогигрофитов и гигромезофитов обеспечило их крайнее положение в ряду увлажнения (отрицательные нагрузки по второму фактору) в противовес флоре золоотвала и террикоников, имеющих максимальные положительные нагрузки по второму фактору. Флоры остальных техногенных объектов заняли промежуточное положение в факторном пространстве.

Распределение флор при анализе с учетом постоянства видов в пределах одного фактора свидетельствует о близости видového состава изученных флор. А нагрузки видов по фактору дают возможность судить о степени их постоянства в растительных сообществах техногенных ландшафтов лесостепной зоны (табл. 15). Факторные нагрузки при анализе методом главных компонент с учетом обилия позволяют выделить группу видов, имеющих относительный перевес во флорах, выделившихся по первому фактору. Нагрузки этих видов по первому фактору значительно больше, чем по второму. Флоры золоотвала Южно-Уральской ГРЭС и террикоников выделились по второму фактору благодаря более высокому баллу обилия по сравнению с флорами техногенных объектов таких видов, как кохия веничная (*Kochia scoparia*), икотник (*Berteroa incana*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), черно-

Биоэкологическая структура флор

Группы видов	ЛС-1		ЛС-2		ЛС-3		ЛС-4		ЛС
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов
Экоморфа									
Мезогигрофиты, гигромезофиты	12	8,2	13	10,2	3	7,7	5	6,25	3
Мезофиты	66	45,3	53	41,8	12	30,8	35	43,75	21
Ксеромезофиты	37	25,3	32	25,2	13	33,3	22	27,5	11
Мезоксерофиты	26	17,8	22	17,3	8	20,5	17	21,25	12
Ксерофиты	5	3,4	7	5,5	3	7,7	1	1,25	3
Жизненная форма									
Терофиты	30	20,5	27	21,3	8	20,5	16	20,0	11
Гемикриптофиты	74	50,7	57	44,9	17	43,7	35	43,75	22
Геофиты	35	24,0	36	28,3	12	30,8	26	32,5	15
Хамефиты	2	1,4	3	2,4	1	2,5	2	2,5	1
Фанерофиты	5	3,4	4	3,1	1	2,5	1	1,25	1
Способ распространения									
Автохор, барохор	38	26,0	28	22,0	6	15,4	16	20,0	13
Баллист	19	13,0	19	15,0	5	12,8	10	12,5	8
Зоохор	24	16,4	18	14,2	6	15,4	17	21,25	6
Гемиянемохор	38	26,0	36	28,3	15	38,5	26	32,5	16
Анемохор	23	15,9	23	18,1	6	15,4	8	10,0	7
Прочие	4	2,7	3	2,4	1	2,5	3	3,75	—
Ландшафтно-зональная									
Влажные луга	6	4,1	3	2,4	1	2,5	1	1,25	2
Солончаковые луга, солончаки	8	5,5	10	7,9	3	7,7	2	2,5	2
Сорные	61	41,8	57	44,9	19	48,8	40	50,0	26
Лесные	5	3,4	5	3,9	1	2,5	3	3,75	2
Луговые	33	22,6	26	20,5	7	18,0	21	26,25	7
Лугово-степные	19	13	13	10,2	5	12,8	10	12,5	7
Степные	14	9,6	13	10,2	3	7,7	3	3,75	4

корень (*Cynoglossum officinale*) и др., факторные нагрузки которых по второму фактору выше, чем по первому.

Значительный интерес имеет анализ флоры техногенных ландшафтов Урала, которая представлена 444 видами высших сосудистых растений, относящихся к 51 семейству, 230 родам (табл. 16). Общий флористический список техногенных ландшафтов включает: степной зоны — 214, лесостепной — 264, лесной — 260 видов. Преобладают покрытосеменные, из них двудольные составляют 83,3%, однодольные — 14,9%. Число видов в семействах от 1 до 80; 15 семейств представлены одним, 4 — двумя, 10 — тремя видами. Ран-

-5	ЛС-6		ЛС-7		ЛС-8		ЛС-9		ЛС-10	
%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%

(гидроморфа)

6,0	7	6,3	3	3,6	8	9,5	5	8,2	4	3,6
42,0	48	42,8	37	44,0	30	35,7	30	49,2	41	37,4
22,0	28	25,0	24	28,6	27	32,2	11	18,0	32	29,1
24,0	22	19,6	15	17,8	16	19,0	11	18,0	25	22,7
6,0	7	6,3	5	6,0	3	3,6	4	6,6	8	7,2

по Раункиеру

22,0	23	20,5	14	16,7	17	20,2	2	3,3	28	25,5
44,0	53	47,3	35	41,6	39	46,4	28	45,9	61	55,5
30,0	26	23,3	23	27,4	26	31,0	20	32,8	16	14,5
2,0	2	1,8	3	3,6	2	2,4	3	4,9	4	3,6
2,0	8	7,1	9	10,7	—	—	8	13,1	1	0,9

семян

26,0	25	22,3	12	14,3	14	16,7	18	29,5	24	21,8
16,0	12	10,7	10	11,9	10	11,9	8	13,1	18	16,4
12,0	23	20,5	18	21,4	14	16,7	9	14,8	17	15,5
32,0	31	27,7	29	34,5	32	38,1	16	26,2	32	29,1
14,0	19	17,6	14	16,7	11	13,00	10	16,4	15	13,6
—	2	1,8	1	1,2	3	3,6	—	—	4	3,6

принадлежность

4,0	2	1,8	1	1,2	4	4,8	3	4,9	1	0,9
4,0	4	3,6	4	4,8	9	10,7	—	—	2	1,8
52,0	49	43,8	35	41,6	36	42,9	18	29,5	51	46,3
4,0	9	8,0	8	9,5	2	2,4	6	9,8	2	1,8
14,0	24	21,4	15	17,8	17	20,2	14	23,0	19	17,3
14,0	15	13,4	12	14,3	11	13,0	14	23,0	17	15,5
8,0	9	8,0	6	7,2	5	6,0	6	9,8	18	16,4

жировка 12 семейств, представленных десятью и более видами, показана в табл. 17. В зависимости от зоны от 17 до 24,8% (44—56 видов) флоры техногенных ландшафтов составляют виды семейства сложноцветных (80 видов, составляющих 17,8% в общем списке). Наиболее многочисленны виды трех важнейших семейств: сложноцветных (Asteraceae), злаковых (Poaceae) и бобовых (Fabaceae), которые составляют в сумме от 37 до 50% флоры.

Наиболее разнообразны по видовому составу роды *Artemisia* (12 видов), *Potentilla* (11), *Poa*, *Trifolium* (по 8 видов), *Polygonum*, *Plantago* (по 7), 42 рода содержат 3—6 видов. Для некоторых

Таблица 10

Коэффициенты сходства флор техногенных объектов лесостепной зоны

Объект	ЛС-1	ЛС-2	ЛС-3	ЛС-4	ЛС-5	ЛС-6	ЛС-7	ЛС-8	ЛС-9	ЛС-10	Среднее
ЛС-1		0,48	0,26	0,58	0,39	0,64	0,56	0,54	0,39	0,52	0,48
ЛС-2	66		0,38	0,47	0,44	0,58	0,52	0,60	0,40	0,49	0,48
ЛС-3	24	32		0,45	0,45	0,42	0,44	0,46	0,36	0,34	0,39
ЛС-4	66	49	27		0,51	0,65	0,70	0,61	0,44	0,54	0,55
ЛС-5	38	39	20	33		0,49	0,49	0,54	0,47	0,38	0,46
ЛС-6	82	69	32	62	40		0,71	0,66	0,45	0,56	0,57
ЛС-7	65	54	27	57	33	70		0,64	0,51	0,49	0,56
ЛС-8	62	64	28	50	36	65	54		0,46	0,53	0,56
ЛС-9	40	38	18	31	26	39	37	33		0,39	0,43
ЛС-10	66	58	25	51	30	62	48	51	33		0,47
Общее число видов	146	127	39	80	50	112	84	84	61	110	

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты сходства Чекановского—Сьеренсена, в нижней — число общих видов.

Таблица 11

Коэффициенты сходства флор техногенных объектов лесостепной зоны по видовому разнообразию семейств

Объект	ЛС-1	ЛС-2	ЛС-3	ЛС-4	ЛС-5	ЛС-6	ЛС-7	ЛС-8	ЛС-9	ЛС-10	Среднее
ЛС-1		0,84	0,42	0,66	0,50	0,84	0,68	0,66	0,54	0,78	0,66
ЛС-2	116		0,46	0,72	0,56	0,82	0,70	0,60	0,58	0,74	0,62
ЛС-3	39	39		0,64	0,74	0,52	0,62	0,50	0,58	0,50	0,61
ЛС-4	76	74	38		0,68	0,80	0,80	0,80	0,60	0,52	0,67
ЛС-5	50	50	33	45		0,62	0,74	0,66	0,72	0,62	0,70
ЛС-6	108	99	39	77	49		0,82	0,76	0,64	0,78	0,73
ЛС-7	78	75	38	66	49	80		0,80	0,70	0,80	0,70
ЛС-8	78	66	37	67	45	77	65		0,60	0,74	0,63
ЛС-9	56	56	29	43	40	56	51	45		0,58	0,67
ЛС-10	102	90	38	77	49	86	77	74	49		0,67
Общее число видов	146	127	39	80	50	112	84	84	61	110	

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты сходства Чекановского—Сьеренсена, в нижней — общее число видов по семействам.

родов прослеживается четкая зависимость видового разнообразия от зонального положения. От степной к лесной зоне увеличивается число видов в родах *Poa*, *Polygonum*, *Lathyrus*, *Trifolium* и заметно уменьшается в родах *Astragalus*, *Artemisia*, *Centaurea*, *Inula*.

В целом во флоре техногенных ландшафтов преобладают мезофиты (48,9%), гемикриптофиты (48%), значительную долю составляют сорные (рудеральные) виды (27,3%). По способу распространения семян распределение видов довольно равномерное при неболь-

Таблица 12

**Коэффициенты сходства флор техногенных объектов лесостепной зоны
по родовому разнообразию семейств**

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10	Среднее
ЛС-1		0,82	0,48	0,74	0,58	0,86	0,72	0,62	0,54	0,84	0,69
ЛС-2	78		0,56	0,78	0,64	0,84	0,74	0,78	0,58	0,76	0,68
ЛС-3	34	34		0,66	0,72	0,54	0,68	0,72	0,60	0,66	0,68
ЛС-4	65	61	34		0,70	0,88	0,78	0,64	0,58	0,84	0,71
ЛС-5	43	42	28	39		0,68	0,78	0,74	0,74	0,74	0,76
ЛС-6	79	70	34	65	42		0,84	0,90	0,64	0,84	0,77
ЛС-7	59	56	33	52	42	60		0,78	0,74	0,80	0,75
ЛС-8	55	57	33	40	37	63	47		0,60	0,78	0,64
ЛС-9	41	38	24	33	33	41	40	31		0,58	0,76
ЛС-10	74	59	34	57	41	63	52	52	34		0,72
Общее число родов	105	86	34	68	43	81	63	58	45	69	

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты сходства Чекановского—Сьерсенсена, в нижней — общее число родов по семействам.

Таблица 13

Корреляционная матрица флор техногенных объектов лесостепной зоны

Объект	ЛС-1	ЛС-2	ЛС-3	ЛС-4	ЛС-5	ЛС-6	ЛС-7	ЛС-8	ЛС-9	ЛС-10	Среднее
ЛС-1		0,12	0,17	0,23	0,24	0,20	0,30	0,25	0,18	0,06	
ЛС-2	0,54		0,35	0,22	0,34	0,23	0,28	0,46	0,34	0,10	
ЛС-3	0,50	0,47		0,30	0,38	0,27	0,45	0,34	0,39	0,23	
ЛС-4	0,65	0,45	0,43		0,49	0,40	0,46	0,42	0,27	0,61	
ЛС-5	0,43	0,37	0,43	0,44		0,32	0,38	0,46	0,43	0,34	
ЛС-6	0,65	0,56	0,50	0,59	0,56		0,53	0,43	0,29	0,26	
ЛС-7	0,68	0,56	0,42	0,66	0,46	0,69		0,56	0,50	0,25	
ЛС-8	0,48	0,50	0,29	0,43	0,43	0,64	0,58		0,33	0,24	
ЛС-9	0,34	0,35	0,27	0,33	0,30	0,47	0,47	0,38		0,23	
ЛС-10	0,31	0,35	0,22	0,43	0,27	0,42	0,43	0,39	0,31		
Общее число видов	146	127	39	80	50	112	84	84	61	110	

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты корреляции с учетом обилия видов, в нижней — с учетом их постоянства.

шом суммарном преимуществе автохоров и барохоров (рис. 8).

Проведено сравнение биоэкологической структуры флор по экорморфам, жизненным формам по Раункьеру, способу распространения семян и ландшафтно-зональной принадлежности видов (рис. 9—12). По экологическому спектру явно прослеживается ксерофитизация флоры от лесной к степной зоне, флора лесостепной зоны занимает промежуточное положение. В биологическом спектре в этом направлении наблюдается закономерное увеличение доли гемикриптофитов

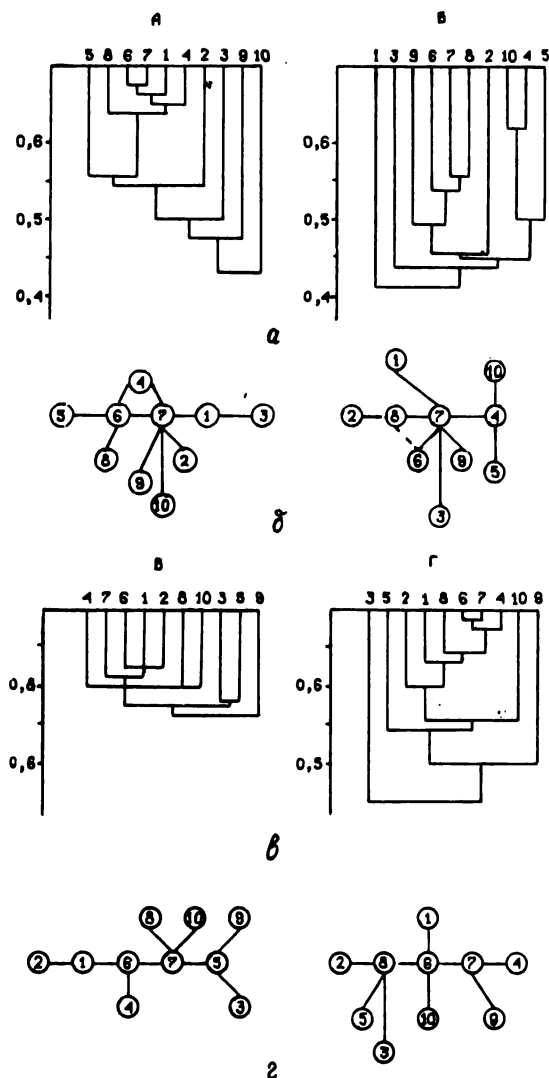


Рис. 6. Дендрограммы (а, в) и графы сходства (б, г) флор техногенных объектов лесостепной зоны:

А, Б — по коэффициентам корреляции с учетом постоянства (А) и обилия (Б) видов; В, Г — на основе коэффициентов Чекановского—Сьерсенсена по видовой общности (В) и видовому и родовому разнообразию семейства (Г); 1 — Коркинский разрез; 2 — Батуринский разрез; 3 — Красносельский разрез; 4 — терриконный шахт; 5 — автоотвалы Красносельских разрезов; 6 — Коркинский железнодорожный отвал; 7 — Красносельский железнодорожный отвал; 8 — вскрышные гидроотвалы; 9 — отвалы Кичигинского месторождения формовочных песков; 10 — золоотвал Южно-Уральской ГРЭС

Таблица 14

**Факторные нагрузки флор
техногенных объектов лесостепной зоны
с учетом обилия и постоянства видов**

Объект	Обилие видов		Объект	Постоянство видов (фактор 1)
	Фактор 1	Фактор 2		
ЛС-7	0,69	0	ЛС-6	0,80
ЛС-8	0,64	0	ЛС-7	0,70
ЛС-9	0,59	0	ЛС-1	0,75
ЛС-2	0,59	0	ЛС-4	0,70
ЛС-3	0,53	0	ЛС-8	0,65
ЛС-10	0	0,68	ЛС-2	0,64
ЛС-4	0	0,62	ЛС-5	0,57
ЛС-1	0,33	0	ЛС-3	0,55
ЛС-5	0,40	0	ЛС-9	0,55
ЛС-6	0,45	0	ЛС-10	0,48

* Факторная нагрузка < 0,25.

и хамефитов при снижении доли участия фанерофитов и геофитов. Анализ структуры флор по способу распространения семян выявляет

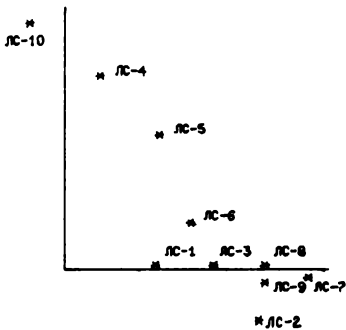


Рис. 7. Взаиморасположение флор техногенных объектов лесостепной зоны в факторном пространстве:

ЛС-1 — Коркинский разрез; ЛС-2 — Батуринский разрез; ЛС-3 — Красносельский разрез; ЛС-4 — терриконы шахт; ЛС-5 — автоотвалы Красносельских разрезов; ЛС-6 — Коркинский железнодорожный отвал; ЛС-7 — Красносельский железнодорожный отвал; ЛС-8 — вскрышные гидроотвалы; ЛС-9 — отвалы Кичигинского месторождения формовочных песков; ЛС-10 — золоотвал Южно-Уральской ГРЭС

закономерную тенденцию увеличения по направлению от лесной зоны к степной доли баллистов и снижение доли зоохоров. При оценке ландшафтной принадлежности видов во флорах четко проявляются элементы зональности с преобладанием группы сорных (29—38,2%). От лесной к степной зоне наблюдается уменьшение доли лесных и луговых и, соответственно, возрастание процента лугово-степных и степных видов. Еще раз следует подчеркнуть, что по всем рассмотренным показателям флора лесостепной зоны занимает промежуточное положение. В процентном отношении в флористическом составе сообществ техногенных ландшафтов преобладают многолетники, обратное явление может наблюдаться лишь на самых ранних стадиях их формирования. В последнем случае однолетники часто доминируют (преобладают численно, по проективному покрытию и массе).

Таблица 15

Факторные нагрузки доминирующих видов и ингредиентов
флор техногенных объектов лесостепной зоны

Вид	Обилие видов		Постоянство видов (фактор 1)
	фактор 1	фактор 2	
<i>Achillea millefolium</i>	2,21	1,83	2,07
<i>A. nobilis</i>	1,46	1,00	1,37
<i>Agrostis gigantea</i>	0,93	0,59	0,26
<i>Artemisia absinthium</i>	2,71	3,50	4,00
<i>A. austriaca</i>	2,15	1,57	0,08
<i>A. dracunculus</i>	0,47	0,60	0,08
<i>A. sieversiana</i>	1,25	0,89	0,23
<i>Astragalus danicus</i>	0,63	0,06	0,23
<i>Atriplex nitens</i>	0,90	0,57	1,06
<i>A. tatarica</i>	0,68	0,80	0,68
<i>Berteroa incana</i>	1,70	2,08	2,39
<i>Calamagrostis epigeios</i>	5,33	3,44	3,41
<i>Carduus crispus</i>	0,39	0,43	1,13
<i>C. nutans</i>	0,26	0,07	0,98
<i>Chamaerion angustifolium</i>	1,47	1,23	1,53
<i>Centaurea scabiosa</i>	0,82	0,72	0,30
<i>Cichorium inthybus</i>	1,08	0,82	0,30
<i>Cirsium arvense</i>	0,98	0,60	2,17
<i>Convolvulus arvensis</i>	1,37	1,41	2,13
<i>Cynoglossum officinale</i>	0,57	1,59	0,05
<i>Elytrigia repens</i>	3,77	3,53	3,61
<i>Erysimum cheiranthoides</i>	0,30	0,75	0,33
<i>Euphorbia waldsteinii</i>	1,30	1,24	0,05
<i>Festuca ovina</i>	0,94	0,54	0,33
<i>F. rubra</i>	0,58	0,89	0,11
<i>Hordeum brachyantherum</i>	1,00	0,81	1,39
<i>Inula hirta</i>	0,76	0,86	0,76
<i>Kochia scoparia</i>	3,03	6,14	1,13
<i>Lactuca tatarica</i>	2,00	1,00	2,57
<i>Lappula squarrosa</i>	0,52	0,59	1,21
<i>Lathyrus pratensis</i>	0,65	0,24	0,11
<i>Linaria vulgaris</i>	1,25	1,18	3,10
<i>Medicago falcata</i>	1,28	1,01	0,68
<i>M. lupulina</i>	1,95	1,13	1,68
<i>Melilotus albus</i>	2,20	1,40	3,14
<i>Pastinaca sylvestris</i>	0,45	0,63	1,16

Вид	Обилие видов		Постоянство видов (фактор 1)
	фактор 1	фактор 2	
<i>Phragmites australis</i>	1,98	0,82	1,16
<i>Poa pratensis</i>	3,48	2,13	1,60
<i>Polygonum aviculare</i>	1,27	1,27	1,95
<i>Potentilla anserina</i>	0,66	0,80	1,02
<i>P. argentea</i>	0,75	0,66	1,46
<i>Puccinellia distans</i>	1,28	0,68	1,41
<i>P. hauptiana</i>	0,48	1,01	0,08
<i>Rumex confertus</i>	1,13	0,46	1,13
<i>Salicornia europaea</i>	1,00	0,22	0,44
<i>Salsola collina</i>	1,23	1,18	1,83
<i>Saussurea amara</i>	0,80	0,56	1,52
<i>Sisymbrium loselii</i>	0,43	0,74	1,69
<i>Solanum dulcamara</i>	0,91	1,09	2,38
<i>Sonchus arvensis</i>	0,97	0,54	2,27
<i>S. oleraceus</i>	0,71	0,69	1,08
<i>Taraxacum officinale</i>	1,29	0,84	2,61
<i>Trifolium repens</i>	1,82	1,82	1,72
<i>Tripolium vulgare</i>	0,94	0,08	1,12
<i>Tussilago farfara</i>	1,77	1,19	3,19
<i>Vicia cracca</i>	1,26	0,99	1,35

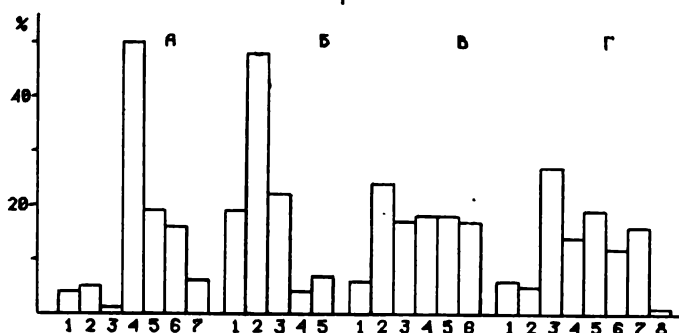


Рис. 8. Биоэкологическая структура флоры техногенных ландшафтов Урала:

А — экоморфа: 1 — гигрофиты; 2 — мезогигрофиты; 3 — гигромезофиты; 4 — мезофиты; 5 — ксеромезофиты; 6 — мезоксерофиты; 7 — ксерофиты; 8 — жизненная форма по Раункиеру: 1 — терофиты; 2 — гемикриптофиты; 3 — геофиты; 4 — хамефиты; 5 — фанерофиты; В — способ распространения семян: 1 — прочие; 2 — барохор, автохор; 3 — баллист; 4 — зоохор; 5 — гемиянемохор; 6 — анемохор; Г — ландшафтно-зональная принадлежность: 1 — влажные луга, болота и др.; 2 — солончаковые луга; 3 — сорно-рудеральные; 4 — лесные; 5 — луговые; 6 — лугово-степные; 7 — степные; 8 — декоративные

Из 444 видов флоры техногенных ландшафтов 92 — общие для всех трех зон, из них 68,5% составляют многолетники (рис. 13). По ландшафтно-зональной принадлежности 86,5% видов составляют 3 группы: сорные (50%), луговые (20,7%), лугово-степные

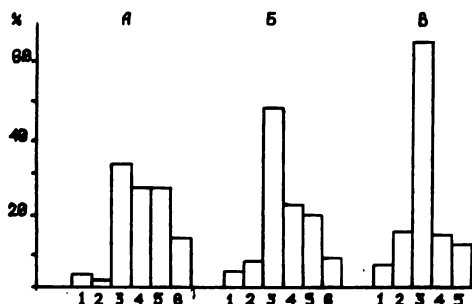


Рис. 9. Соотношение экологических групп во флоре техногенных ландшафтов Урала по зонам:

А — степная; Б — лесостепная; В — лесная (здесь и далее на рис. 10—12); 1 — гигрофиты; 2 — мезогигрофиты, гигромезофиты; 3 — мезофиты; 4 — ксеромезофиты; 5 — мезоксерофиты; 6 — ксерофиты

Таксономический состав флоры

Систематическая группа	Лесная зона				Лесостепная зона			
	Число			% от общего числа видов	Число			% от общего числа видов
	семейств	родов	видов		семейств	родов	видов	
Папоротникообразные	1	1	2	0,8	1	1	2	0,8
Голосеменные	2	4	4	1,5	—	—	—	—
Покрывосеменные	37	158	254	97,7	38	145	262	99,2
В том числе:								
двудольные	33	134	216	83,0	32	121	221	83,7
однодольные	4	24	38	14,7	6	24	41	15,5

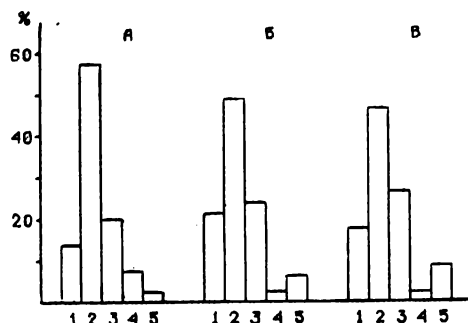


Рис. 10. Структура флоры техногенных ландшафтов Урала по жизненным формам Раункиера:
1 — терофиты; 2 — гемикриптофиты; 3 — геофиты; 4 — хамефиты; 5 — фитнерофиты

(15,2%). В экологическом спектре преобладают мезофиты (44,6%), которые вместе с ксеромезофитами (32,6%) и мезоксерофитами (17,4%) составляют 94,6% видов. Как и следовало ожидать, обильными являются широко распространенные эвритопные виды. В то же время техногенные ландшафты отличаются экологическим своеобразием. Если эдафические условия не доходят до уровня экстремальных для формирования растительности, то за счет воз-

Таблица 16

техногенных ландшафтов Урала по зонам

Степная зона				Общий список			
семейств	Число родов	Число видов	% от общего числа видов	семейств	Число родов	Число видов	% от общего числа видов
1	1	1	0,5	1	1	3	0,7
1	1	1	0,5	3	5	5	1,1
30	128	212	90,0	47	224	436	98,2
26	108	179	83,6	40	188	370	83,3
4	20	33	15,4	7	36	66	14,9

Таблица 17

Ранжировка крупнейших семейств флоры техногенных ландшафтов Урала по числу видов и родов

Семейство	Лесная зона			Лесостепная зона			Степная зона			Общий список		
	Число видов	% от общего числа	Число родов	Число видов	% от общего числа	Число родов	Число видов	% от общего числа	Число родов	Число видов	% от общего числа	Число родов
Asteraceae	44	17,0	28	56	21,3	29	53	24,8	27	80	17,8	36
Poaceae	31	12,0	17	33	13,0	18	29	13,5	17	49	11,0	23
Fabaceae	22	8,5	8	22	8,3	10	26	12,1	10	38	8,6	12
Rosaceae	19	7,3	10	16	6,0	5	11	5,1	7	29	6,5	10
Brassicaceae	16	6,1	13	17	6,4	13	16	7,4	13	28	6,3	20
Caryophyllaceae	10	3,8	8	13	4,9	4	9	4,2	5	22	5,0	10
Chenopodiaceae	8	3,1	4	18	6,8	8	11	5,1	7	20	4,5	9
Scrophulariaceae	12	4,6	9	7	2,6	5	7	3,3	4	19	4,3	9
Polygonaceae	11	4,2	2	11	4,2	2	6	2,8	3	14	3,2	3
Apiaceae	8	3,1	8	7	2,6	7	5	2,3	5	14	3,1	14
Lamiaceae	8	3,1	7	5	1,9	5	6	2,8	5	14	3,1	11
Ranunculaceae	8	3,1	4	1	0,4	1	3	1,4	2	10	2,2	5
<i>Итого</i>	197	75,9	118	206	78,4	107	182	84,8	105	337	75,6	162
<i>Всего</i>	260	—	164	264	—	150	214	—	129	444	—	239

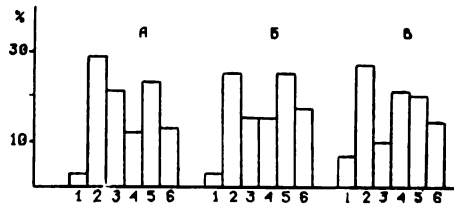


Рис. 11. Структура флоры техногенных ландшафтов Урала по способу распространения семян:

1 — прочие; 2 — барохор, автохор; 3 — баллист; 4 — зоохор; 5 — гемнанемохор; 6 — анемохор

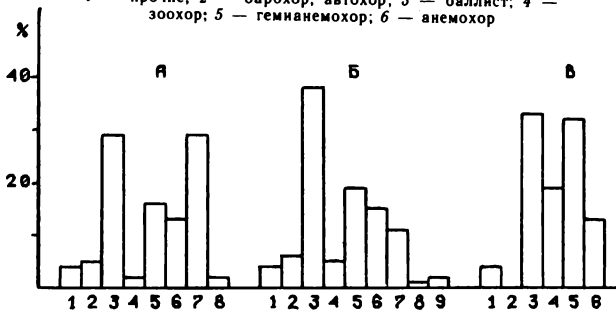


Рис. 12. Структура флоры техногенных ландшафтов Урала по ландшафтно-зональной принадлежности:

1 — влажные луга, болота и др.; 2 — солончаковые луга; 3 — сорно-рудельные; 4 — лесные; 5 — луговые; 6 — лугово-степные; 7 — степные; 8 — полупустынно-степные; 9 — декоративные

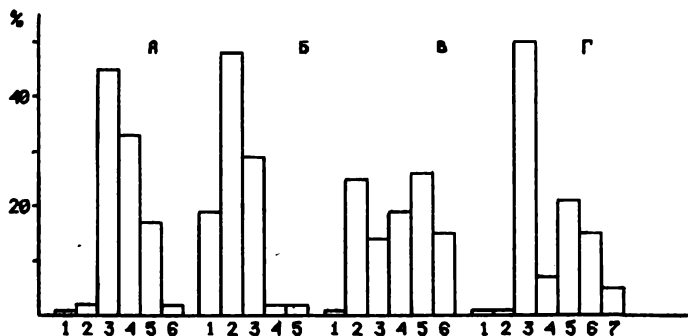


Рис. 13. Биоэкологическая структура общих для всех зон видов техногенных ландшафтов Урала:

А — экоморфы: 1 — мезогигрофиты; 2 — гигромезофиты; 3 — мезофиты; 4 — ксеромезофиты; 5 — мезоксерофиты; 6 — ксерофиты; Б — жизненная форма по Раункиеру: 1 — терофиты; 2 — гемикриптофиты; 3 — геофиты; 4 — хамефиты; 5 — фанерофиты; В — способ распространения семян: 1 — прочие; 2 — барохор, автохор; 3 — баллист; 4 — зоохор; 5 — гемнанемохор; 6 — анемохор; Г — ландшафтно-зональная принадлежность: 1 — влажные луга, болота и др.; 2 — солончаковые луга; 3 — сорно-рудеральные; 4 — лесные; 5 — луговые; 6 — лугово-степные; 7 — степные

вышенных положений рельефа, более легкого механического состава грунтосмесей отвалов в лесной зоне экологические условия техногенных объектов часто более ксероморфны. В лесостепной и степной зонах наблюдается некоторая (относительно зональных сообществ) мезофитизация и даже гигромезофитизация флор техногенных объектов за счет флористического состава сообществ, формирующихся близ выхода грунтовых вод в разрезах или в замкнутых блюдцеобразных понижениях на отвалах.

Проведено сравнение зональных флор по видовому составу и разнообразию семейств по видам и родам с использованием коэффициента сходства Чекановского—Сьеренсена, а коэффициенты корреляции вычислены с учетом обилия и балла постоянства видов (табл. 18). Примерно одинаков и высок (0,76—0,85) уровень коэффициентов сходства по видовому и родовому разнообразию семейств. Несколько ниже коэффициент видового сходства зональных флор: степной и лесной с лесостепной на уровне 0,56—0,58, а лесной и степной — 0,41. Введение количественных оценок видов ослабляет связь по сравнению с анализом по отсутствию (присутствию) видов. Анализ корреляционной матрицы с учетом постоянства и обилия видов показывает относительную стабильность видового состава флор техногенных ландшафтов по зонам, но постоянство и обилие большинства общих для всех зон видов зависит от зонального положения флоры (см. приложение). Закономерно увеличивается постоянство во флорах по направлению степная—лесостепная—лесная зоны щучки дернистой (*Deschampsia caespitosa*), овсяницы луговой (*Festuca pratensis*), мятлика лугового

Коэффициенты Чекановского—Сьеренсена видового сходства (I),
разнообразия семейств по видам (II), родам (III)
и корреляционная матрица зональных флор техногенных ландшафтов (IV)

I				II			
	л	лс	с		л	лс	с
Л				Л			
ЛС	152	0,58	0,41	ЛС	215	0,82	0,77
С	98	134	0,56	С	182	199	0,83
Всего видов	260	264	214	Всего видов	260	264	214
III				IV			
	л	лс	с		л	лс	с
Л				Л			
ЛС	127	0,81	0,76	ЛС	0,46	0,21	-0,01
С	111	118	0,85	С	0,21	0,59	0,29
Всего видов	164	150	129	Всего видов	260	264	214

Примечания: I—III — в верхней части матриц — коэффициент сходства, в нижней — число общих видов (I), количественное сходство видов в семействах (II), родов в семействах (III); IV — в верхней части матрицы — коэффициенты корреляции с учетом обилия, в нижней — постоянства видов; Л, ЛС, С — флоры соответственно лесной, лесостепной и степной зон.

(*Poa pratensis*), ракитника русского (*Chamaecytisus ruthenicus*), чины луговой (*Lathyrus pratensis*), клеверов среднего, лугового, ползучего (*Trifolium medium*, *T. pratense*, *T. repens*), иван-чая (*Chamaerion angustifolium*), из сложноцветных — тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*), полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris*), кульбабы осенней (*Leontodon autumnalis*), пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*) и мать-и-мачехи (*Tussilago farfara*). Прямо противоположная тенденция изменения балла постоянства наблюдается у мятлика узколистного (*Poa angustifolia*), качима метельчатого (*Gypsophila paniculata*) и подмаренника настоящего (*Galium verum*). У оставшихся 62 видов балл постоянства либо не зависит от зоны, либо достигает максимума во флоре техногенных ландшафтов лесостепной зоны.

Определенный интерес представляет фитоценотическая роль общих для всех зональных флор видов. Из 92 общих видов во всех зонах в ряде сообществ с высоким баллом обилия описаны лишь 16. Горец птичий (*Polygonum aviculare*), лебеда татарская (*Atriplex tatarica*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*) и ряд видов из семейства сложноцветных, такие как полынь горькая (*Artemisia absinthium*), бодяк

полевой (*Cirsium arvense*), осот полевой (*Sonchus arvensis*) и мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*) на ранних стадиях формирования фитоценозов могут быть доминантами независимо от зоны, но частота доминирования по зонам меняется. Так, горец птичий и лебеда татарская чаще встречаются в качестве доминантов в степной зоне, мать-и-мачеха — в лесостепной и лесной. В целом же проявляется четкая зависимость фитоценотической роли «сквозных» видов от зонального положения сообществ, о чем косвенно свидетельствуют данные приложения.

Наиболее полно зональность проявляется при формировании фитоценозов техногенных ландшафтов лесной зоны. По всем коэффициентам выявляется довольно четкая группировка флор сравниваемых техногенных объектов, которая поддается биологической (экологической) интерпретации.

2.2. Формирование и динамика фитоценозов

Необходимость и актуальность биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель в настоящее время не нуждается в доказательствах. В связи с этим вполне оправданно большое внимание к изучению процесса естественного восстановления почвенного и растительного покрова на промышленных отвалах и других типах техногенно нарушенных земель, т. е. к процессу самозарастания, который представляет собой эксперимент, проведенный самой природой.

Исследования процесса самозарастания проводились на Украине (Бондарь, 1971 а, б, 1974; Бондарь, Додатко, 1973; Масюк, 1976; Дениsik, 1984), в Донбассе (Рева, Бакланов, 1974; Рева и др. 1978), в Подмоскowie (Акулов, Макаров, 1980; Васильева, 1981; Моторина, 1970; Моторина, Ижевская, 1973, 1980 а, б; Ижевская, Васильева, 1980), в Кузбассе (Баранник, 1973; Щербатенко, Кондрашин, 1977), на отвалах Курской магнитной аномалии (Федотов, 1984), железорудных месторождений Северного Казахстана (Терехова и др., 1974) и в других регионах страны. Но особенно интенсивно эти работы проводились и проводятся на Урале (Колесников и др., 1976; Кулагин, 1982; Левит, 1978; Лукьянец, 1974 а, б, 1982; Маковский, Новак, 1974; Махонина, Чибрик, 1974 а, б, 1978 а, б; Махонина и др., 1976 а, б; Накаряков, Назаренко, 1980; Пасынкова, 1978; Прокопьев и др., 1974; Тарчевский, 1966 а, б; Тарчевский, Чибрик, 1969, 1970 а, б; Хамидулина, 1970; Чибрик, 1979 а, б; Шилова, 1970, 1974; Штина и др., 1971; и др.), что обусловлено практическими задачами.

Выделение площадей, не требующих биологической рекультивации, и учет при ее проведении последствий процесса самозарастания дает возможность значительно удешевить рекультивационные работы.

При изучении формирующихся на нарушенных землях фитоценозов наметилось два направления. Подавляющее большинство работ посвящено описанию фитоценозов, их флористическому или геоботаническому анализу вне связи с растительностью окружающей территории. Другая часть исследований направлена на выведение обобщенных закономерностей по динамике растительных сообществ на нарушенных промышленностью землях с использованием схем сингенетических сукцессий зонального плана, которые были выведены по результатам самозаращания залежей. В первом случае наблюдаются элементы абсолютизации своеобразия, во втором — его недооценка. Для анализа полученных данных авторами практически не используется богатый арсенал математических методов, достаточно полно разработанный именно в геоботанике.

В то же время фитоценозы техногенных ландшафтов являются очень удобным объектом для решения многих проблем геоботаники, особенно по динамике фитоценозов, так как известен стартовый момент их формирования. Повышенный интерес к проблеме динамики фитоценозов отмечается в настоящее время (Миркин, 1984, 1985). Фитоценозы техногенных ландшафтов в большинстве своем имеют обедненный видовой состав и упрощенную структуру, что значительно облегчает их анализ с использованием математических методов.

Рассмотрим формирование фитоценозов на отвалах Аккермановского и Новокиевского месторождений хромоникелевых железных руд. Климат района резко континентальный. Среднегодовое количество осадков 260—300 мм, при колебаниях от 90 до 452 мм. Среднегодовая температура воздуха $+2,8^{\circ}\text{C}$ при максимальной $+42^{\circ}\text{C}$ (июль) и минимальной -40°C (январь—февраль). Снежный покров неравномерный, характерны снежные заносы в понижениях. Аккермановское и Новокиевское месторождения хромоникелевых железных руд относятся к Орско-Халиловскому горнорудному району Урала и расположены в зоне сухих степей. Рудами месторождений являются преимущественно бурые железняки с содержанием железа 30—40%.

Аккермановские отвалы пустых пород складировались железнодорожным транспортом и представляют собой относительно выровненные пространства, приподнятые над окружающей местностью на 8—20 м, с колебанием рельефа на поверхности в пределах 0,5—1,5 м в виде гряд, расположенных параллельно прокладке железнодорожного полотна. Сложены отвалы в основном красными глинами, известняками, кремнеземом и другими породами, от 30 до 70% их поверхности покрыто щебнем известняка. Общая площадь отвалов около 200 га. Они окружены полями с посевами зерновых культур и многолетних трав, а местами граничат с зональными разнотравно-типчаковыми степными участками, сильно деградированными вследствие выпаса скота. Возраст отвалов в мо-

мент обследования от 1 до 33 лет. Агрохимическая характеристика субстратов поверхности Аккермановских отвалов с анализом начальных процессов почвообразования опубликована (Махонина и др., 1976 а).

На Новокиевском железорудном месторождении динамика формирования фитоценозов изучалась на отвале пустых пород, также складированном железнодорожным транспортом. Высота отвала 12—22 м, рельеф грядово-бугристый с блюдцеобразными понижениями, площадь свыше 200 га. Сложен отвал преимущественно слюдистыми суглинками с большой примесью кварцевого песка с галькой и незначительной примесью (до 5%) охристой железной руды. Грунтосмеси отвала — легкого механического состава (легкие и средние суглинки), слабощелочные, бедны подвижными формами калия и азотом, обеспечены доступными фосфатами. Местами наблюдается слабое и среднее хлоридно-натриевое засоление. Отвал окружен разнотравно-типчakovыми степными участками с сильно деградированной растительностью из-за выпаса скота. Возраст отдельных участков отвала от 2 до 18 лет.

На указанных месторождениях отвалы пустых пород не рекультивированы и постепенно зарастали в результате заноса семян с окружающих территорий.

Динамика формирования фитоценозов изучалась на серии сходных по площади разновозрастных, но однотипных по другим показателям участков (свойствам грунтосмесей, микрорельефу и, по возможности, условиям заноса семян). Возраст участка определялся по маркшейдерским данным. На Аккермановских отвалах описана растительность на участках в возрасте 1—3—5—7—11—13—15—18—21—24 лет и 33 года после окончания отсыпки пустых пород. Поскольку поселение высших сосудистых растений начинается сразу же после окончания отсыпки, этим же сроком исчисляется возраст формирующихся фитоценозов. На Новокиевском отвале изучено формирование фитоценозов на участках в возрасте 2—4—6—10—12—14—16—18 лет.

Формирование фитоценоза мы понимаем, согласно определению Л. Я. Курочкиной и В. В. Вухрера (1987), как «развитие растительной группировки от стадий поселения отдельных экземпляров до группировки с определенной степенью сомкнутости и ясно выраженными фитоценотическими отношениями, независимо от динамического статуса фитоценоза».

В нашем случае формирование фитоценоза — это и «процесс заселения растениями незанятых территорий» (Миркин, Розенберг, 1983), которые являются первичными. Отвалы сложены извлеченными с глубин древними геологическими породами, лишенными диаспор. Динамика растительности отвалов Аккермановского и Новокиевского месторождений охарактеризована соответственно 11 и 12 обобщенными геоботаническими описаниями на разновоз-

растных участках (табл. 19), где указаны все виды, имеющие обилие *sp* и выше. Для большинства фитоценозов характерно групповое или рассеянно-групповое расположение растений, поэтому в табл. 19 приведены виды, встречающиеся на описанной площади в виде единичных ясно выраженных групп (обилие *sol gr*). Чаще всего они появляются в результате разрастания отдельных особей или групп вегетативно подвижных растений или за счет семенного размножения особей видов с малой дальностью распространения семян (преимущественно автохоры и баллисты) и оказывают существенное влияние на физиономичность и структуру сообщества. Для удобства при дальнейшем изложении сохраняются номера фитоценозов, присвоенные им в табл. 19, а именно: 1—11 — фитоценозы разновозрастных участков Аккермановских отвалов, 12—23 — Новокиевского отвала.

Таблица 19

Геоботаническая характеристика разновозрастных участков на отвалах Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений

№ фитоценоза	Возраст, лет	Количество видов	Пректтивное покрытие, %	Преобладающие виды и их обилие
1	1	14	10	Аккермановские отвалы <i>sp</i> - <i>Polygonum aviculare</i> , <i>sol gr</i> - <i>sp</i> - <i>Kochia scoparia</i> , <i>sol gr</i> - <i>Axyris amaranthoides</i> , <i>Salsola collina</i>
2	3	31	20-30	<i>sp</i> - <i>cop</i> - <i>Melilotus albus</i> , <i>sp</i> - <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Erucastrum armoracioides</i> , <i>sol gr</i> - <i>Artemisia austriaca</i> , <i>Axyris amaranthoides</i> , <i>Lactuca tatarica</i> , <i>Oberna behen</i>
3	5	18	30-40	<i>sp</i> - <i>Melilotus albus</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>A. austriaca</i> , <i>Erucastrum armoracioides</i> , <i>Axyris amaranthoides</i> , <i>Oberna behen</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>sol gr</i> - <i>sp</i> - <i>Kochia scoparia</i> , <i>sol gr</i> - <i>Atriplex tatarica</i> , <i>Elytrigia trichophora</i> , <i>Leymus ramosus</i> , <i>Scleranthus annuus</i>
4	7	33	40-50	<i>sp</i> - <i>cop</i> - <i>Artemisia frigida</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>sp gr</i> - <i>Atriplex tatarica</i> , <i>sp</i> - <i>Melilotus albus</i> , <i>sol gr</i> - <i>sp</i> - <i>Agropyrum cristatum</i> , <i>Erucastrum armoracioides</i> , <i>sol gr</i> - <i>Stipa sp.</i>
5	11	32	20-30	<i>sp</i> - <i>Poa angustifolia</i> , <i>sol gr</i> - <i>sp</i> - <i>Medicago falcata</i> , <i>Melilotus albus</i> , <i>sol</i> - <i>sp</i> - <i>Festuca valesiaca ssp. sulcata</i>
6	13	30	30-40	<i>sp</i> - <i>Melilotus albus</i> , <i>Poa angustifolia</i> , <i>sol gr</i> - <i>sp</i> - <i>Artemisia austriaca</i> , <i>Astragalus wolgensis</i> , <i>Medicago falcata</i> , <i>sol gr</i> - <i>Achil-</i>

Н фито- цено- за	Воз- раст, лет	Коли- чест- во видов	Проек- тивное покры- тие, %	Преобладающие виды и их обилие
7	15	37	60-70	<p><i>lea nobilis</i>, <i>Dianthus andrzejowskianus</i>, <i>Euphorbia volgensis</i>, <i>Cirsium arvense</i> sp - cop - <i>Artemisia marschalliana</i>, sol gr - sp - <i>Artemisia austriaca</i>, <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i>, <i>Melilotus albus</i>, <i>Poa angustifo-</i> <i>lia</i>, sol gr - <i>Cirsium arvense</i>, <i>Cichorium in-</i> <i>thybus</i>, <i>Gypsophila paniculata</i>, <i>Leymus ramosus</i> <i>Medicago falcata</i>, <i>Oxytropis pilosa</i></p>
8	18	27	60	<p>cop - <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i>, sp - <i>Artemisia austriaca</i>, <i>A. dracunculus</i>, <i>A. mar-</i> <i>schalliana</i>, <i>Melilotus albus</i>, <i>Poa angustifolia</i> sol gr - <i>Gypsophila paniculata</i>, <i>Omalotheca syl-</i> <i>vatica</i>, <i>Plantago salsa</i>, <i>Salvia stepposa</i></p>
9	21	28	70	<p>cop - <i>Artemisia austriaca</i>, sp - cop- <i>Poa angu-</i> <i>stifolia</i>, <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i>, sp - <i>Artemisia marschalliana</i>, <i>Melilotus albus</i>, sol gr - <i>Astragalus wolgensis</i>, <i>Carduus crispus</i>, <i>Euphorbia volgensis</i>, <i>Salvia stepposa</i></p>
10	24	40	70	<p>sp - cop - <i>Artemisia austriaca</i>, <i>A. frigida</i>, <i>A. marschalliana</i>, sp - <i>Medicago falcata</i>, <i>Melilotus volgicus</i>, <i>Omalotheca sylvatica</i>, sol - sp - <i>Anthemis tinctoria</i>, <i>Astragalus wolgensis</i>, <i>Oxytropis pilosa</i> sol gr - <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i></p>
11	33	58	80	<p>cop - <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i>, cop - <i>Artemisia austriaca</i>, <i>Festuca pseudovina</i>, sp - cop - <i>Artemisia marschalliana</i>, sp - <i>Astraga-</i> <i>lus wolgensis</i>, sol - sp - <i>Agropyrum cristatum</i> <i>Astragalus varius</i>, sol gr - <i>Artemisia campest-</i> <i>ris</i>, <i>Hedysarum grandiflorum</i>, <i>Rosa glabrifolia</i> <i>Onosma simplicissima</i>, <i>Tymus marschallianus</i></p>
12	2	13	40-60	<p>Новокиевский отдел cop₂₋₃ - <i>Atriplex tatarica</i>, sp - <i>Kochia prostrata</i>, <i>Erysimum cheiranthoides</i>, sol - sp - <i>Artemi-</i> <i>sia sieversiana</i>, <i>Hyoscyamus niger</i></p>
13	4	14	20-30	<p>sp - cop₁ - <i>Polygonum aviculare</i>, sp - <i>Scleran-</i> <i>thus annuus</i>, sp - sp gr - <i>Kochia prostrata</i></p>
14	6	20	50	<p>sp - cop₂ - <i>Polygonum aviculare</i>, sp - cop₁ - <i>Artemisia lerschiana</i>, <i>Salsola australis</i>, <i>Sclera-</i> <i>nthus annuus</i>, sp gr - cop₁ - <i>Puccinellia dist-</i> <i>ans</i>, <i>P. hauptiana</i>, sp - <i>Achillea nobilis</i>, <i>Atrip-</i> <i>plex tatarica</i>, <i>Kochia prostrata</i></p>
15	10	20	70-80	<p>sp gr - cop₁ - <i>Achillea nobilis</i>, <i>Melilotus al-</i> <i>bus</i>, <i>M. volgicus</i>, sp - cop₁ - <i>Achillea melefoli-</i></p>

№ фито- цено- за	Воз- раст, лет	Коли- чест- во видов	Проек- тивное покры- тие, %	Преобладающие виды и их обилие
16	12	25	40-50	um, <i>Artemisia lerchiana</i> , sp gr - <i>Agrostis gigantea</i> , <i>Artemisia dracunculus</i> , <i>Leymus ramosus</i> , sp - <i>Artemisia marschalliana</i> , <i>Gypsophila altissima</i> , <i>Lactuca tatarica</i> , <i>Melilotus officinalis</i> , <i>Turritis glabra</i> sp - cop ₁ - <i>Atriplex tatarica</i> , <i>Artemisia lerchiana</i> , sp - sp gr - <i>Lactuca tatarica</i> , <i>Puccinellia distans</i> , <i>P. hauptiana</i> , <i>Suaeda corniculata</i> , sp - <i>Kochia prostrata</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , sol - sp - <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i> , sol gr - <i>Astragalus sulcatus</i>
17	14	14	40-50	sp - sp gr - <i>Artemisia lerchiana</i> , sp - <i>Artemisia marschalliana</i> , <i>Lactuca tatarica</i> , sol gr - sp gr - <i>Melilotus albus</i> , sol gr - sp - <i>Poa angustifolia</i> , sol - sp - <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i>
18	16	16	40-60	cop ₁ - <i>Artemisia lerchiana</i> , sol gr - sp gr - <i>Atriplex tatarica</i> , <i>Puccinellia distans</i> , <i>P. hauptiana</i> , <i>Artemisia marschalliana</i> , sol gr - <i>Achillea nobilis</i> , <i>Leymus ramosus</i> , <i>Poa angustifolia</i>
19	18	28	60-70	sp gr - cop - <i>Artemisia lerchiana</i> , <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i> , sp - sp gr - <i>Lactuca tatarica</i> , sp - <i>Achillea nobilis</i> , <i>Artemisia marschalliana</i> , sol - sp - <i>Dianthus andrzejewskianus</i> , <i>Festuca pseudovina</i> , <i>Erysimum cheiranthoides</i> , <i>Melilotus albus</i> , <i>M. volgicus</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>P. angustifolia</i> , sol gr - <i>Ephedra distachya</i>
20	12	21	70-100	sp gr - cop - <i>Melilotus albus</i> , sp gr - cop - <i>Inula britannica</i> , <i>Agrostis gigantea</i> , sp - cop - <i>Lactuca tatarica</i> , <i>Juncus bufonius</i> , sp gr - <i>Achillea nobilis</i> , <i>Cirsium arvense</i> , sp - sp gr - <i>Artemisia lerchiana</i> , <i>A. campestris</i> , sp - <i>Artemisia marschalliana</i> , <i>Matricaria perforata</i> , <i>Rumex crispus</i> , sol gr - sp - <i>Puccinellia distans</i> , <i>P. hauptiana</i>
21	14	18	100	sp - sp gr - <i>Achillea nobilis</i> , sp - <i>Matricaria perforata</i> , <i>Inula britannica</i> , <i>Odontites vulgaris</i> , <i>Festuca gigantea</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Rumex crispus</i> , <i>Puccinellia distans</i> , <i>P. hauptiana</i> , sol gr - <i>Agrostis gigantea</i> , <i>A. tenuis</i> , <i>Artemisia lerchiana</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Melilotus albus</i> , <i>Poa pratensis</i>
22	16	33	100	cop - <i>Juncus bufonius</i> , <i>Rumex crispus</i> , sp-cop <i>Agrostis gigantea</i> , sp - cop - <i>Artemisia cam-</i>

№ фито- цено- за	Воз- раст, лет	Коли- чест- во видов	Проек- тивное покры- тие, %	Преобладающие виды и их обилие
23	18	23	100	<p><i>pestris</i>, <i>A. lerchiana</i>, <i>Inula britannica</i>, sp - sp gr - <i>Achillea nobilis</i>, sp - <i>Carex</i> sp., <i>Lactuca tatarica</i>, <i>Matricaria perforata</i>, <i>Puccinellia distans</i>, <i>P. hauptiana</i>, <i>Taraxacum officinale</i>, sol gr - <i>Astragalus danicus</i>, <i>Medicago lupulina</i>, <i>Melilotus albus</i>, <i>Potentilla impolita</i>, <i>Sanguisorba officinalis</i>, sol - sp - <i>Festuca valesiaca</i> ssp. <i>sulcata</i></p> <p>sp - cop - <i>Artemisia campestris</i>, sp - cop - <i>Agrostis tenuis</i>, <i>Juncus bufonius</i>, <i>Melilotus albus</i>, <i>M. officinalis</i>, <i>M. volgicus</i>, sp gr - <i>Calamagrostis epigeios</i>, <i>Poa pratensis</i>, sp - sp gr - <i>Agrostis gigantea</i>, <i>Cirsium arvense</i>, <i>Lactuca tatarica</i>, <i>Achillea nobilis</i>, <i>Inula britannica</i>, <i>Puccinellia distans</i>, <i>P. hauptiana</i>, sp - <i>Artemisia austriaca</i>, <i>A. lerchiana</i>, <i>A. marschalliana</i>, <i>Odontites vulgaris</i>, <i>Picris hieracioides</i>, <i>Rumex crispus</i>, <i>Taraxacum officinale</i></p>

На Новокиевском отвале при окончании отсыпки проводилась грубая планировка поверхности. С годами произошла неравномерная усадка грунтосмеси и образовались значительные по площади замкнутые блюдцеобразные понижения. Для района характерны постоянные и сильные ветры, оказывающие большое влияние на перераспределение снежного покрова. Снег выносятся с открытых ровных площадей и возвышений в понижения, где возникают снежные заносы, скапливаются талые воды. Последние способствуют сносу в понижения мелкозема и заиливанию поверхности. В результате в них образуются длительно переувлажненные участки. Формирование фитоценозов на них отличается от этого процесса на ровной поверхности, вследствие чего уже на 12-летних участках описание растительности проведено отдельно на ровной поверхности (см. табл. 19 — 16, 17, 18, 19) и в понижениях (см. табл. 19 — 20, 21, 22, 23). Таким образом, на Аккермановских отвалах описание отражает возрастной ряд, а на Новокиевском он усложнен условиями увлажнения. В понижениях с возрастом происходит гигрофитизация, а на ровной поверхности — ксерофитизация сообществ, что находит свое отражение в флористическом составе.

На однолетнем участке Аккермановских отвалов наблюдается поселение высшей растительности. Она представлена редкими хорошо развитыми, крупными растениями высотой от 5—10 до 60—

70 см (балл жизненности по Алехину — 3 а). Отдельные особи достигают высоты до 1 м. Проективное покрытие поверхности участка растительностью менее 10%. В сложении растительного покрова участвуют 14 видов, преимущественно многолетники, но примерно 1/3 видов составляют однолетники. Основной фон создают горец птичий (обилие *sp*) и кохия веничная (*Kochia scoraria*) с обилием *sp gr—sp*.

Растительность трехлетнего участка разреженная, бурьянистая, с преобладанием разнотравья. Отдельные растения хорошо развиты (балл жизненности — 3 а). Общее проективное покрытие поверхности участка отгала растительностью возрастает до 20—30%. Преобладающее большинство растений имеют высоту 30—100 см, ниже 30 см располагается горец птичий (обилие *sp*) и однолетники из сорного разнотравья: аксирис щирицевый (*Axyris amaranthoides*), дескурайния (*Descurainia sophia*), лебеда татарская (*Atriplex tatarica*), которые имеют пониженный балл жизненности (3 б). Они проходят полный цикл развития, но имеют меньшие размеры. Основной фон создают донник белый (*Melilotus albus*, *cop₁* — *sp*), капуста хреновидная (*Erucastrum armoracioides*, *sp*), горец птичий (обилие *sp*). Эти же виды образуют основную массу травостоя. Группами встречаются полынь австрийская (*Artemisia austriaca*) и латук татарский (*Lactuca tatarica*). Всего на участке зафиксировано 30 видов, т. е. по сравнению с однолетним участком видовой состав значительно обогатился. Хотя количество видов увеличилось вдвое, но принципиального изменения флористического состава не наблюдается. Как и на однолетнем участке, это преимущественно одно- двулетники, которые имеют, в основном, стержневую и ветвистую корневые системы. Надземная часть этих растений высокая и при значительном ветре отламывается по корневой шейке, образуя пережаты-поле. По сравнению с однолетним участком здесь произошли лишь количественные изменения в структуре растительного сообщества.

Растительность пятилетнего участка травянистая, изреженная, имеет ясно выраженное групповое сложение в виде отдельных кустов и куртин хорошо развитых растений. Фон создают капуста хреновидная (*sp—cop₁*), донник белый (*sp—cop₁*), полынь холодная (*Artemisia frigida*, *sp*), латук татарский (*sp*). Всего на участке зафиксировано 18 видов, 7 из них — однолетники. Все растения имеют хорошую жизненность (балл 3 а). Проективное покрытие — 30—40%, т. е. по сравнению с трехлетним участком оно увеличивается.

В структуре растительного сообщества проявляются элементы ярусности. Первый подъярус (50—100 см) образуют донник белый, полынь холодная и пырей сизый (*Elytrigia trichophora*) Третий подъярус (до 30 см) составлен большим числом видов (13). Только в третьем подъярусе встречаются горец птичий, кохия про-

стертая (*Kochia prostrata*), острец (*Leymus ramosus*), скерда кровельная (*Strepis tectorum*). Остальные виды занимают, кроме третьего, и второй переходный подъярус.

Семилетний участок покрыт изреженной травянистой растительностью. Растения более низкие, чем на вышеописанном участке, распределение их более равномерное. Но все же еще отчетливо проявляется групповое сложение растительного покрова. На этом участке значительно больше злаков как по видовому составу, так и по обилию. На общем фоне выделяются крупные кусты житняка (*Agropyrum pectinatum*) и чертополоха крючковатого (*Carduus uncinatus*). Менее обильна капуста хреновидная, но все же она влияет на физиономичность участка. Проективное покрытие поверхности участка растительностью 40—50%. Всего на участке описано 33 вида, из них 7 видов злаков с обилием *sol gr—sp gr*. Более определенно, чем на предыдущем участке, проявляется ярусность.

Растительность 11-летнего участка разреженная, проективное покрытие 20—30%. Показатель проективного покрытия невелик; скорее всего, это объясняется большой щебнистостью поверхности участка (60—70%) и сильным стравливанием за счет выпаса скота. Распределение растений более или менее равномерное. Всего на участке описано 32 вида, из которых только 2 — однолетники с семенным возобновлением. Остальные 30 видов — двулетники и многолетники с преимущественно вегетативным возобновлением. Преобладающими видами являются люцерна желтая (*Medicago falcata*, sp), мятлик узколистный (*Poa angustifolia*, sp), типчак (*Festuca valesiaca* ssp. *sulcata*), донник белый (sp). Остальные виды встречаются единично. В большинстве это типичные степняки: полынь эстрагон (*Artemisia dracunculus*), полынь австрийская, астрагал волжский (*Astragalus wolgensis*), тимьян (*Thymus marschallianus*), тимофеевка степная (*Phleum phleoides*), вероника колосистая (*Veronica spicata*), гвоздика иглистая (*Dianthus acicularis*), бурачок пустынный (*Alyssum turkestanicum*) и др. Ясной выраженности ярусов нет.

На поверхности 15-летнего участка находится много крупнощебнистого материала, хотя и несколько меньше, чем на предыдущих участках. Растительность травянистая, проективное покрытие 50—60%. В структуре растительного покрова яснее начинает проявляться ярусность. Нижний третий подъярус до 30 см составляют типчак (sp), острец (sp gr), тысячелистник благородный (*Achillea nobilis*, sp), остролодочник волосистый (*Oxytropis pilosa*, sp). Кроме того, в этом подъярусе располагаются вегетативные особи других видов. В первый подъярус (выше 50 см) входят полынь эстрагон (sol), чертополох курчавый (*Carduus crispus*, sol), ковыль (*Stipa* sp, sol). Остальные виды слагают второй подъярус (30—50 см). Во втором подъярусе преобладают виды, имеющие большее

обилие — мятлик узколистный (sp), полынь Маршалла (*Artemisia marschalliana*, сор₁), донник белый (sp). Следует отметить, что все преобладающие виды распределены диффузно, но ясно выделяются куртины люцерны желтой (sol gr), качима метельчатого (*Gypsophila paniculata*, sol gr), цикория (*Cichorium inthybus*, sol gr), бодяка полевого (*Cirsium arvense*, sol gr), острца (sol gr). Поэтому общее сложение растений в травостое — диффузно-групповое.

На 18-летнем участке много крупноглыбистого материала, но щетинистость меньше, чем на участках 11 и 13 лет. Растительность травянистая, проективное покрытие 60%. Ясно выражены 3 подъяруса. Основное покрытие составляют виды третьего подъяруса (до 30 см). Это типчак (сор₁), мятлик узколистный (sp). В этом же подъярусе встречаются тысячелистник благородный, козелец (*Scorzonera marschalliana*), сушеница лесная (*Omalotheca sylvatica*), остролодочник волосистый, подорожник солончаковый (*Plantago salsa*), которые имеют обилие sol. Кроме того, здесь же располагаются ювенильные особи других видов. Первый подъярус (выше 50 см) образуют полынь эстрагон, цикорий, василек шероховатый (*Centaurea scabiosa*), обилие которых не превышает sol, но они создают определенную физиономичность растительного сообщества.

Второй подъярус образован многими видами (18), но большинство из них имеют небольшое обилие (sol). Наиболее обильны в этом подъярусе полынь Лерха (*Artemisia lerchiana*, sp), полынь Маршалла (sp), донник белый (sp). Всего на участке зафиксировано 29 видов, преобладающее большинство из них (25 видов) — многолетники ксерофитного и мезофитного типа. Распределение растений более равномерное, чем на предыдущем участке. Группами встречаются лишь полынь эстрагон, качим метельчатый, подорожник солончаковый, шалфей степной (*Salvia stepposa*), сушеница лесная. Проективное покрытие по сравнению с предыдущим участком также несколько возрастает.

Растительность 21-летнего участка по общему виду сходна с растительностью 18-летнего, но меньше обилия полыни эстрагона, здесь она встречается единично, а не группами, как на предыдущем участке. Значительно увеличивается обилие полыни Лерха (сор₁). Распределение растений более равномерное, диффузное. Возрастает по сравнению с предыдущим участком проективное покрытие, которое составляет 70%. Ярусность на этом участке более определенная. Основное покрытие дают виды третьего (до 30 см) и второго (30—50 см) подъярусов. В третьем подъярусе располагаются типчак (sp—сор₁), мятлик узколистный (sp—сор₁), тысячелистник благородный (sol), остролодочник (sol), астрагал воляжский (sol), а также ювенильные особи других видов. Второй подъярус слагают 15 видов, среди которых значительное обилие

имеют полыни Лерха и Маршалла (sp—cor₁). Остальные виды единичны. Первый подъярус (>50 см) составляют эстрагон, чертополох курчавый, цикорий и шавель курчавый (*Rumex crispus*), но все эти виды встречаются единично. Всего на участке встречено 28 видов, преимущественно многолетники ксерофитного и мезоксерофитного типа. Однолетники и двулетники составляют лишь 15% всех видов.

Растительный покров 24-летнего участка сходен по виду с нарушенными степными участками. Проективное покрытие 70%. Фон создают полыни и типчак. На ровной поверхности и в незначительных понижениях сформировались полынно-типчаковые сложные фитоценозы. Несколько отличаются возвышения, на которых преобладают полыни. Вследствие этого создается впечатление, что сложение групповое. На ровной поверхности распределение растений равномерное, диффузное. Ясно выделяются 3 подъяруса. Основное покрытие дают виды третьего (до 30 см) и второго (30—50 см) подъярусов. В третьем подъярусе располагается типчак (sp—cor₁ gr), астрагал волжский (sp), остролодочник (sp). Кроме указанных видов в этом подъярусе встречаются овсяница ложноовечья (*Festuca pseudovina*), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), копеечник крупноцветковый (*Hedysarum grandiflorum*), тимьян Маршалла, мятлик узколистный и другие виды, которые встречаются рассеянно и единично. В третьем подъярусе располагаются ювенильные и виргинильные особи многих видов. Всего в этом подъярусе описано 18 видов. Обилие всех видов первого подъяруса не выше sol. Это васильки шероховатый и русский (*Centaurea ruthenica*), качим высокий (*Gypsophilla altissima*), козлобородник сомнительный (*Tragopogon dubius*), полынь эстрагон, цикорий, раkitник русский (*Chamaecytisus ruthenicus*), девясил высокий (*Inula helenium*). Второй подъярус слагают 20 видов. Значительное обилие имеют полынь Маршалла (cor₁) и Лерха (cor₁), пупавка красильная (*Anthemis tinctoria*, sp), донник белый (sp), люцерна желтая (sp gr). Остальные виды встречаются единично. Всего на участке зафиксировано 44 вида, преимущественно многолетники ксерофитного и мезоксерофитного типа. Однолетники и двулетники составляют лишь 7% от общего числа всех видов.

Травостой на 33-летнем участке низкий. Проективное покрытие 80%, задерненность 60%. Распределение видов равномерное, диффузное. Фон создают полынь Лерха (cor₁) и типчак (cor₁—cor₂). Ясно выражено три подъяруса: третий — до 20 см, второй — 20—30 см, первый — 30—50 см. Основное покрытие, как и на вышеописанных участках, составляют виды третьего и второго подъярусов. В третьем подъярусе располагается типчак, копеечник крупноцветковый (sol gr), астрагал волжский (sp), ветвистый (*Astragalus varius*, sp), тимьян Маршалла (sol), остролодочник воло-

систый (sol), подорожник средний (*Plantago media*, sol), льнянка обыкновенная (sol). На этом участке, по сравнению с вышеописанными, большее число видов слагает первый подъярус, но обилие их невелико (sol). Это цикорий, зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa*), пырей сизый, полыни холодная, эстрагон, полевая (*Agtemisia campestris*), васильки шероховатый и русский, ракитник русский. Второй подъярус слагают 33 вида, из них большое обилие имеют лишь 5. Это кострец безостый (*Bromopsis inermis*, sol gr—sp gr), житняк гребенчатый (sp), полыни Лерха (cop₁) и Маршалла (sp—cop₁), оносма простейшая (*Onosma simplicissima*, sol gr). Остальные виды встречаются единично. Всего на участке зафиксировано 58 видов, преимущественно многолетники ксерофитного и мезоксерофитного типа. Однолетники и двулетники составляют 7% от общего числа видов. Задерненность на участке значительно выше, чем на всех остальных, проективное покрытие создают в основном злаки и бобовые. При обработке флористических списков получены корреляционные матрицы (табл. 20, 21).

Таблица 20

Корреляционная матрица флористического состава фитоценозов на отвалах Аккермановского железорудного месторождения

№ фитоценоза	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		0,29	0,41	0,14	0,11	0,13	0,12	0	0	0	-0,11
2	0,41		0,36	0,30	0,12	0,15	0,23	0,14	0	0,12	-0,11
3	0,54	0,43		0,30	0	0	0,20	0	0	-0,11	-0,22
4	0,31	0,41	0,55		0,35	0,15	0,36	0,19	0,26	0,20	0
5	0	0,10	0,12	0,28		0,34	0,45	0,38	0,36	0,26	0
6	0	0,11	0,10	0,17	0,50		0,40	0,26	0,49	0,30	0,20
7	0,14	0,15	0,19	0,29	0,54	0,53		0,44	0,52	0,37	0,10
8	0	0,10	0	0,12	0,57	0,46	0,63		0,43	0,38	0,12
9	0	0	0,12	0,17	0,56	0,66	0,65	0,70		0,38	0,27
10	0,25	0,21	0	0,27	0,34	0,44	0,57	0,47	0,50		0,25
11	0	0	0	0	0,25	0,37	0,40	0,55	0,57	0,52	

Примечания: 1. В верхней части матрицы — коэффициенты по отсутствию (присутствию) видов (анализ 0;1), в нижней — с учетом их обилия. 2. Номера фитоценозов даны согласно табл. 19 (здесь и далее в табл. 21—24). 3. Коэффициенты корреляции, абсолютная величина которых <0,1, обозначены 0.

Анализ флористического состава фитоценозов разновозрастных участков Аккермановских отвалов показал, что между близкими по возрасту фитоценозами существенна корреляционная связь как по видовому составу (анализ 0;1), так и с учетом обилия видов. По тесноте корреляционной связи выделяются две группы сообществ (см. табл. 20): 1—4 (возраст 1—7 лет) и 5—11 (от 11 до 33 лет).

Корреляционная связь флористического состава фитоценозов Новокиевского отвала менее четкая (см. табл. 21). Такого обо-

**Корреляционная матрица флористического состава фитоценозов
на отвалах Новокиевского железорудного месторождения**

№ фитоценоза	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
12		0,42	0,21	-0,18	0,22	0,15	0,18	-0,12	0	0	-0,10	0
13	0,30		0,64	0	0,48	0,13	0,32	0	0,24	0,22	0	0,21
14	0,18	0,83		0	0,18	0,11	0,19	-0,20	0,17	0,17	0	0
15	-0,11	0	0		0,25	0,18	0,19	0,23	0,24	0,31	0	0,26
16	0,42	0,51	0,54	0,21		0,20	0,32	0,25	0,28	0,36	0,10	0,36
17	0	0	0	0,37	0,35		0,48	0,42	0,24	0,22	0	0,21
18	0,27	0,21	0,39	0,30	0,65	0,56		0,32	0,31	0,23	0,18	0,34
19	0	0	0	0,36	0,35	0,69	0,45		0	0,10	-0,10	0,10
20	0	0,13	0	0,41	0,30	0,41	0,32	0,28		0,49	0,42	0,62
21	0	0	0,16	0,13	0,29	0,15	0,22	0	0,52		0,21	0,58
22	-0,13	0	0,13	0,16	0,21	0,13	0,22	0,14	0,64	0,36		0,30
23	-0,10	0	0	0,30	0,21	0,24	0,30	0,16	0,63	0,40	0,49	

Примечания: 1. В верхней части матрицы — коэффициенты по отсутствию (присутствию) видов (анализ 0; 1), в нижней — с учетом их обилия. 2. Коэффициенты корреляции, абсолютная величина которых <0,1, обозначены 0.

собления молодых сообществ, как на Аккермановских отвалах, не наблюдается. Из молодых фитоценозов тесно коррелируют 12—13-й и 13—14-й (возраст соответственно 2—4 и 4—6 лет), с ними тесно связан 16-й фитоценоз 12-летнего участка. Четко обособляются по корреляционной связи две группы 12—18-летних фитоценозов, сформировавшихся в понижениях и на ровной поверхности. С ними слабо скоррелирован 10-летний 15-й фитоценоз. Здесь сказалось то, что дивергенция фитоценозов по тренду влажности уже наметилась, но не была еще зафиксирована при описании. В этом отношении весьма наглядны коэффициенты корреляции 16-го фитоценоза (12-летний). Более тесная корреляционная связь наблюдается при анализе с учетом обилия видов между фитоценозами ровной поверхности, а при анализе 0; 1 — фитоценозами понижений, что говорит об опережающем процессе смены видового состава.

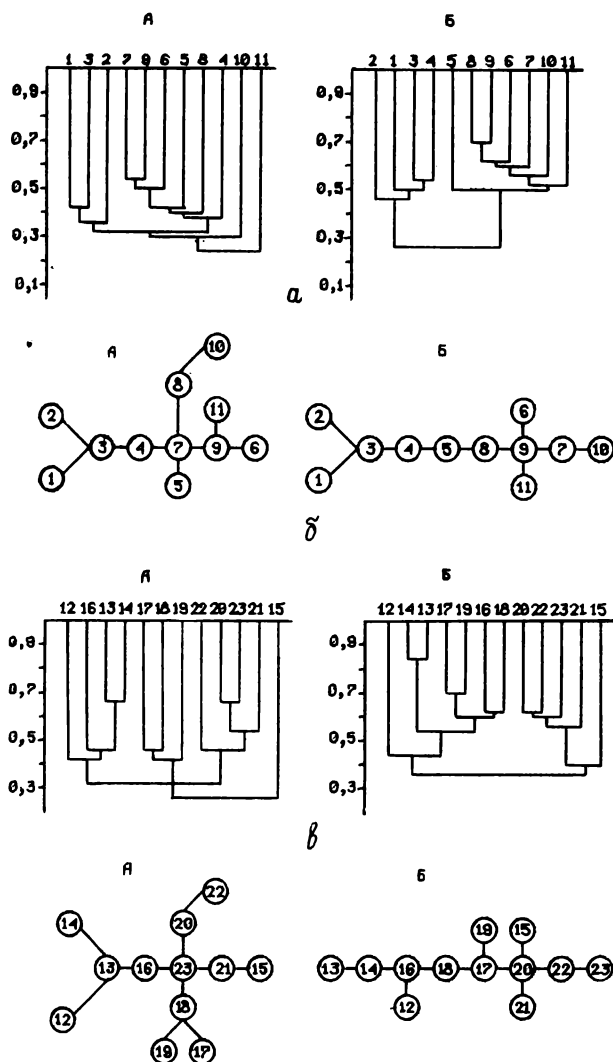
С целью проверки устойчивости связи, с одной стороны, и сравнения флористического состава разновозрастных фитоценозов отвалов двух месторождений, с другой, определена корреляционная матрица всех 23 фитоценозов. Анализ ее показал устойчивость связи фитоценозов на каждом месторождении (структура связи практически не изменилась), хотя наблюдается незначительное изменение конкретных показателей тесноты связи. При сравнении фитоценозов с отвалов разных месторождений большее коррелятивное сходство отмечается в группе молодых.

Но все же анализ корреляционной матрицы даже при 11—12, тем более при 23 сообществах весьма затруднителен. Легко про-

следить связь какого-то одного сообщества со всеми остальными. Показать общую структурную связь всех изучаемых сообществ позволяют методы кластерного анализа, которые отображают внутреннюю структуру корреляционной связи между изучаемыми сообществами в виде дендрограммы и графа сходства (рис. 14). Дендрограмма наглядно показывает близкие по связи группы, т. е. производит группировку фитоценозов. Граф вскрывает внутреннюю структуру связи между фитоценозами. На дендрограмме, отражающей кластеризацию фитоценозов Аккермановских отвалов при анализе флористических списков с учетом обилия, четко выделяются две группы сообществ: первая (№ 1—4) объединяет молодые фитоценозы в возрасте от 1 до 7 лет, вторая (№ 6—11) — более сформированные старые, 13—33-летние. Промежуточное положение занимает фитоценоз 11-летнего участка (№ 5).

Несколько иная группировка по тесноте связи при анализе по отсутствию (присутствию) видов (см. рис. 14). Здесь фитоценозы кластеризуются в три возрастные группы: 1—5-летние (№ 1—3), 7—21-летние (№ 4—9) и слабо связанные с предыдущими группами 24—33-летние фитоценозы. Таким образом, при анализе 0,1 зафиксирован процесс смены видового состава, который происходит на рубеже 5 лет и 21 года. Анализ флористического состава сообществ с учетом обилия видов позволяет предполагать, что с 5 до 7 лет происходит разрастание внедрившихся видов, которые оказали существенное влияние на структуру 7-летних сообществ. Он же позволяет обоснованно заключить, что видовой состав сообществ определяется к 20-ти годам, после чего внедрение новых видов замедляется; формирование структуры сообществ более длительный и постепенный процесс. Граф, построенный на основе корреляционной матрицы, показывает внутреннюю взаимосвязь фитоценозов внутри выделенных групп (см. рис. 14, б, г).

На Новокиевском отвале наряду с временным фактором проявляется влияние влажности субстрата (понижения и ровная поверхность). На дендрограммах согласно корреляционной матрице при анализе 0; 1 и с учетом обилия (см. рис. 14, в) выделяется три группы: молодые 2—6-летние фитоценозы (12, 13, 14), 14—18-летние мезофитно-ксерофитные на ровной поверхности (17, 18, 19) и 12—18-летние гигрофитно-мезофитные в понижениях (20, 21, 22, 23). Особо выделяются фитоценозы 10-летнего (15) и 12-летнего (16) участков на ровной поверхности. Первый тяготеет к сформировавшимся сообществам пониженных местообитаний, второй — к более молодым. Это два пограничных по возрасту фитоценоза. Как уже отмечалось, отдельно описания на ровной поверхности и в понижениях проведены на 12-летних участках. Поэтому флористический список 15-го фитоценоза обогащен за счет видов влажных пониженных местообитаний, а 16-го, наоборот, обеднен за счет их выделения. Внутренняя структура связи между фитоценозами



2

Рис. 14. Дендрограммы (а, в) и графы сходства (б, г) разновозрастных фитоценозов на основе корреляционной матрицы по флористическим спискам:

а, б — Аккермановские отвалы: 1—11 — фитоценозы соответственно 1—3—5—7—11—13—15—18—21—24—33 лет; в, г — Новокиевский отвал; 12—15 — фитоценозы 2—4—6—10 лет; 16—19 — 12—14—16—18 лет на ровной поверхности; 20—23 — такого же возраста в понижениях; А — анализ по отсутствию (присутствию) видов; Б — анализ с учетом обилия видов (здесь и далее на рис. 15—17)

в группах при анализе 0;1 и с учетом обилия несколько различна (см. рис. 14, г).

Кроме корреляционной матрицы количественную степень сходства позволяет получить метод главных компонент в виде факторных нагрузок (табл. 22—24). Приведенные в таблицах матрицы факторных нагрузок упорядочены таким образом, что столбцы формируются в порядке убывания дисперсии, объяснимой факторами, строки упорядочены так, что для каждого последующего фактора нагрузки больше 0,5 появляются первыми, нагрузки меньше 0,25 заменяются нулями.

Взаимосвязь фитоценозов может быть представлена геометрически, когда нагрузки соответствующих фитоценозов на разные факторы принимаются за координаты, определяющие положение изученных фитоценозов в факторном пространстве. На рис. 15 показано положение изученных фитоценозов в факторном пространстве по отношению к первым двум выделенным факторам при анализе флористических списков по отсутствию (присутствию) видов и с учетом их обилия. На Аккермановских отвалах, как и при анализе корреляционной матрицы, группировка сообществ совершенно не изменилась. При анализе 0;1 четко выделяется тесная группа молодых (1, 2, 3), довольно рассеянная средних и самый старый по возрасту (33-летний) фитоценоз. Учет обилия несколько изменяет связь, и в факторном пространстве выделяются лишь две группы с тесной связью. На Новокиевском отвале при анализе 0;1 фитоценозы распределяются в виде двух рассеянных групп, объединяющих 2—6- и 10—18-летние фитоценозы. Фитоценозы первой группы тяготеют к 1-му, а второй — ко 2-му фактору. При анализе с учетом обилия видов кластеризация по корреляционной матрице и объединение в группы в факторном пространстве совпадают, как и при анализе 0;1. Это свидетельствует о том, что на рубеже 6—7 лет значительно меняется видовой состав. При сравнении одновозрастных фитоценозов разных по увлажнению местообитаний больший вес имеет обилие видов, чем видовой состав.

Приведенные иллюстрации анализа фактического материала показывают, что при некотором различии вариации метода анализа не оказывают серьезного влияния на структуру взаимосвязи фитоценозов, которая достаточно постоянна, а следовательно, и на биологическую интерпретацию и выводы.

Описанными методами проведен общий анализ флористических списков отвалов обоих месторождений, который показал устойчивость описанных групп и позволил выявить корреляционную связь между отдельными фитоценозами двух месторождений. Как при анализе 0;1, так и с учетом обилия видов на дендрограмме и графе сходства (рис. 16) выделилась инициальная группа молодых 1—7-летних фитоценозов; от нее фитоценозы Аккермановских

Таблица 22

**Факторные нагрузки фитоценозов
на отвалах Аккермановского железорудного месторождения
по главным компонентам**

№ фито- ценоза	Анализ по отсутствию (присутствию) видов			№ фито- ценоза	Анализ с учетом обилия видов	
	Фактор				Фактор	
	1	2	3		1	2
5	0,76	0*	0	9	0,86	0
7	0,69	0	0,32	8	0,84	0
8	0,68	0	0	7	0,79	0
4	0,58	0,38	0	6	0,73	0
9	0,56	0	0,54	11	0,70	0
3	0	0,78	0	5	0,70	0
1	0	0,78	0	10	0,69	0
2	0	0,67	0	3	0	0,84
11	0	0	0,78	1	0	0,75
6	0,35	0	0,59	4	0	0,72
10	0,37	0	0,57	2	0	0,71

*Факторная нагрузка <0,25 (здесь и далее в табл. 23, 24)

Таблица 23

**Факторные нагрузки фитоценозов
на отвалах Новокиевского железорудного месторождения
по главным компонентам**

№ фито- ценоза	Анализ по отсутствию (присутствию) видов				№ фито- ценоза	Анализ с учетом обилия видов		
	Фактор					Фактор		
	1	2	3	4		1	2	3
13	0,88	0	0	0	20	0,82	0	0,32
14	0,77	0	0	0	22	0,79	0	0
12	0,66	0	0	0	23	0,76	0	0
15	0	0,72	0	0	21	0,70	0	0
21	0	0,67	0,42	0	14	0	0,87	0
16	0,46	0,58	0	0	13	0	0,86	0
23	0	0,55	0,60	0	16	0	0,74	0,42
22	0	0	0,88	0	12	0	0,57	0
20	0	0,39	0,71	0	19	0	0	0,86
17	0	0	0	0,81	17	0	0	0,85
19	0	0,29	0	0,73	18	0	0,47	0,65
18	0,28	0	0,28	0,70	15	0,27	0	0,58

и Новокиевского отвалов отходят в виде двух ветвей, структура взаимосвязи которых, в сравнении с анализом по месторождениям, принципиально не меняется. Аналогичное взаимоотношение показывает и положение растительных сообществ в факторном пространстве (см. рис. 15, в).

Таблица 24

**Факторные нагрузки фитоценозов с Аккермановских
и Новокиевского отвалов по общим факторам**

№ фито- ценоза	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
Анализ по отсутствию (присутствию) видов						
9	0,69	0	0	0	0	0
6	0,62	0	0	0	0	0
11	0,60	0	0	0	0	0
10	0,55	0	0	0	0	0
23	0	0,75	0	0	0	0
20	0	0,71	0	0	0	0
21	0	0,63	0	0	0	0
22	0	0,55	0	0	0,31	0
14	0	0	0,77	0	0	0
13	0	0	0,75	0	0	0
19	0	0	0	0,73	0	0
17	0	0	0	0,61	0	0
18	0	0	0	0,51	0	0
8	0,32	0	0	0	0,51	0
1	0	0	0	0	0	0,57
3	0	0	0	0	0	0,55
12	0	0	0,40	0	0,30	0
4	0	0	0	0	0,37	0
16	0	0	0	0,27	0,33	0
2	0	0	0	0	0,47	0,32
7	0,49	0	0	0	0	0
15	0	0,27	0	0,37	0	0
5	0,40	0	0	0	0,26	0
Анализ с учетом обилия видов						
9	0,90	0	0	0	0	0
8	0,82	0	0	0	0	0
6	0,71	0	0	0	0	0
5	0,2	0	0	0	0	0
7	0,61	0	0	0	0	0
20	0	0,82	0	0	0	0
22	0	0,72	0	0	0	0
23	0	0,70	0	0	0	0
21	0	0,56	0	0	0	0
19	0	0	0,83	0	0	0
17	0	0	0,73	0	0	0
3	0	0	0	0,69	0	0
1	0	0	0	0,68	0	0
2	0	0	0	0,58	0	0
4	0	0	0	0,54	0,25	-0,33
14	0	0	0	0	0,88	0
13	0	0	0	0	0,87	0
12	0	0	-0,35	0	0	0,92
18	0	0	0,27	0	0	0,59
16	0	0	0	0	0,27	0,54
11	0,48	0	0	0	0	0
15	0	0,28	0,44	0	0	0
10	0,49	0	0	0,26	0	0

При факторном анализе осуществляется группировка сообществ по факторным нагрузкам. Приравнивая к нулю факторные нагрузки $< 0,25$, из групп, выделившихся по факторам, исключают сообщества с малым соответствием «типичному» гипотетическому, что способствует еще более жесткой группировке сообществ.

При подобной группировке фитоценозов техногенных ландшафтов, когда одновременно с фитоценозами подробно изучаются экологические, особенно эдафические, условия, как правило, удается идентифицировать экологический смысл факторов. «Молодые» сообщества своеобразны по видовому составу, поэтому группы «молодых» сообществ выделяются по отдельному фактору и также легко распознаются, так как известен их возраст. В результате при сортировке сообществ по группам с привлечением дополнительной информации удается достаточно точно определить экологические и фитоценотические условия для гипотетического «типичного» сообщества по большинству факторов. Некоторые сообщества, обладающие своеобразием, не группируются, а выделяются по отдельному фактору. Тогда анализ исходных признаков такого сообщества помогает «расшифровать» суть своеобразия.

Расшифровка признаков нового гипотетического сообщества по определенному фактору достаточно легко осуществляется при учете факторных нагрузок видов по этому фактору. Они дают характеристику (измерение) нового признакового пространства. «Опознав» вектор признаков, характеризующих новое признаковое пространство, получаем признаковую структуру гипотетического сообщества, которая показывает позицию каждого вида в этом сообществе.

В результате факторного анализа на основе фактического материала по характеристике сообществ и условий их обитания осуществляется «ближайший» прогноз; можно надеяться, что без значительного (катастрофического) изменения экологических и фитоценотических условий гипотетическое сообщество будет соответствовать «типу» для группы сообществ, выделившихся по определенному фактору, в то время как исходные сообщества представляют собой варианты, более или менее приближающиеся к этому «типу».

Факторный анализ дает основу для «дальнего» прогноза. Привнесение дополнительной информации в виде подробной характеристики комплекса экологических условий реальных растительных сообществ (что позволяет выявить полнее биоэкологическую суть фактора), биоэкологической, фитоценотической и других характеристик видов позволяет проверить адекватность факторной модели действительности и разработать схемы формирования фитоценоза в зависимости от возраста и экологических условий на длительный временной отрезок.

Сравнительная биоэкологическая характеристика растительных

связи всегда решаются задачи выявления внутренней структуры корреляционной матрицы и причин, ее обуславливающих.

Для этого применимы методы теории графов: корреляционные плеяды, дендрограммы и др. При анализе представленного фактического материала для этих целей использован, наряду с методами теории графов, и факторный анализ.

Коэффициенты корреляции не всегда отражают причинно-следственную связь. Чаще корреляционная связь сообществ обусловлена невыявленным комплексом экологических, фитоценологических и других условий.

Факторный анализ позволяет получить новые гипотетические переменные (векторы), отражающие корреляционные связи групп сообществ и являющиеся новым признаковым (факторным) пространством меньшей размерности, в котором отображается исходная система векторов. Координаты исходных векторов в новом признаковом пространстве называются факторными нагрузками, а новые гипотетические переменные — общими факторами в α -методе Кайзера и главными компонентами в методе главных компонент.

По сути дела, новые признаковые пространства (векторы признаков) задают за счет корреляционной связи какие-то гипотетические сообщества, число их равно числу выделившихся факторов. Факторные нагрузки каждого исходного сообщества по одному из факторов в смысловом плане определяют количественную степень соответствия комплекса признаков исходного сообщества новому признаковому пространству (признакам гипотетического сообщества). Иными словами, получение нового признакового пространства выявляет реальную возможность прогнозирования «типичного» гипотетического сообщества, и вся трудность состоит в расшифровке признаков этого гипотетического сообщества (в его «опознавании») и определении, для каких экологических, фитоценологических и других условий оно является типичным. Фитоценозы техногенных ландшафтов обладают своеобразием. В данном случае имеют значение два важнейших момента.

Характерной особенностью фитоценозов техногенных ландшафтов является их сильная зависимость от комплекса эдафических условий. Формирование их начинается с нулевого момента и идет по типу первичных сукцессий, на ранних стадиях формирования проявляется жесткий экотопический отбор. В силу разновозрастности исходных фитоценозов и сравнительно большого разнообразия эдафических условий корреляционная матрица изучаемых сообществ, как это показано на примере Аккермановских и Новокиевского отвалов, сообществ Коркинского угольного разреза и других техногенных объектов, обладает четкой внутренней структурой, отображающей экологическую (эдафическую) разнородность условий и степень сформированности фитоценозов (возраст, стадии сингенетических и эндозоогенетических сукцессий).

минантности) с заметной эдификаторной ролью. Четко выделяются виды, которые с возрастом ослабляют свои позиции, часто по типу одновершинной кривой. Иногда проявляются лишь нисходящая или восходящая ветви этой кривой. Эти виды обладают свойствами эксплерентности и экологической патиентности, и стратегия их в сообществах зависит от комплекса условий, способствующего проявлению генотипа.

В обобщенном виде можно дать классификацию видов с учетом их позиции в сериальных фитоценозах отвалов Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений:

I. Виды, характерные для группы «молодых» сообществ.

II. Виды индифферентные, присутствующие независимо от возраста сообществ.

III. Виды, характерные для группы «старых» сообществ.

Для каждой из групп выделяются следующие подгруппы:

1) виды, усиливающие позицию с возрастом сообществ (увеличивают класс постоянства, обилие, массу и др.); для I группы к определенному возрасту резко снижается обилие и постоянство;

2) виды с позицией, не зависящей от возраста сообществ;

3) виды, ослабляющие позицию с возрастом сообществ (зависимость выражается нисходящей или одновершинной кривой).

Виды, характерные для «молодых» и «старых» сообществ (группы I и III), в какой-то степени индицируют стадии сингенетических сукцессий на этих отвалах, степень сформированности сообществ, а виды II группы — экологические условия. Разные виды для I и III групп на Аккермановских и Новокиевском отвалах отражают вариабельность формирующихся сообществ, обусловленную заносом диаспор, некоторым различием конкретных экологических условий отвалов и др. Но эти группы иллюстрируют разные стороны единого процесса формирования фитоценозов на свободном субстрате: I группа определяет инициальные фитоценозы, отражая их вариабельность, III — позволяет прогнозировать возможное развитие фитоценозов с возрастом.

Как уже ранее отмечено, оба варианта факторного анализа (метод главных компонент и α -метод Кайзера) при сравнении сообществ техногенных ландшафтов по флористическим спискам с учетом отсутствия (присутствия) видов, их обилия или с введением других количественных и качественных характеристик видов обладают высокой чувствительностью и разрешающей способностью.

Исходная матрица данных состоит из m сообществ (объектов), каждое из которых охарактеризовано n признаками, составляющими в совокупности своего рода вектор признаков. Количественную оценку тесноты связи сообществ на основе флористических списков дают коэффициенты корреляции, образующие квадратную матрицу. На практике при анализе тесноты корреляционной

Вид	N фитоценоза																			
	11111111112222										12345678901234567890123									
<i>Festuca gigantea</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>F.pseudovina</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Juncus bufonius</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Koeleria cristata</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Inula britannica</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Lepidium latifolium</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Matricaria perforata</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Poa pratensis</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Polygonum aviculare</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Plantago major</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Puccinellia distans</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>P.hauptiana</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Stipa korshinskyi</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Odontites vulgaris</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Phlomis tuberosa</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Astragalus onobrychis</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

П р и м е ч а н и я: s - sol; + - sp; o - cor₁; c - cor₂₋₃. Номера фитоценозов (верхняя строка - десятки, нижняя - единицы) даны согласно табл. 19.

представлены экологическими пациентами, способными быстро осваивать специфические свободные пространства.

Позиция видов «молодых» и «старых» сообществ связана с возрастом фитоценозов. Эта зависимость проявляется по-разному и особенно заметна в группе видов, свойственных «старым» сообществам. В данном случае при увеличении постоянства и обилия с возрастом сообществ можно говорить об усилении позиции вида в сообществах изучаемого объекта, и наоборот. С учетом этого можно выделить виды, которые по мере увеличения возраста сообществ стабильно увеличивают либо постоянство, либо обилие и постоянство, т. е. речь идет о более или менее постепенном усилении позиции вида в «старых» сообществах по сравнению с «молодыми». Эти виды, проявляя свойство виолентности или фитоценотической пациентности (Миркин, 1985), являются потенциальными доминантами (при монодоминантности) или содоминантами (при полидо-

Вид	N фитоценоза												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	22
<i>Cichorium inthybus</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Crepis tectorum</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Centaurea scabiosa</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Cynoglossum officinale</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Erysimum diffusum</i>	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Galium verum</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Omalotheca sylvatica</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Gypsophila altissima</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Hedysarum grandiflorum</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Kochia scoparia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Linaria vulgaris</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Medicago falcata</i>	-	s	s	+	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Lepidium ruderae</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Kochia prostrata</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Oxytropis pilosa</i>	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Poa angustifolia</i>	-	s	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Plantago salsa</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Potentilla impolita</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Salsola collina</i>	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Salvia stepposa</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Salsola australis</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Scleranthus annuus</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Silene nutans</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Saussurea alpina</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Scorzonera stricta</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Senecio jacobaea</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Artemisia lerchiana</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Agrostis gigantea</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>A. tenuis</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Arctium lappa</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Atriplex nitens</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>A. tatarica</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Erucastrum armoracioides</i>	s	+	+	+	s	s	s	s	s	s	s	s	s
<i>Calamagrostis epigeios</i>	-	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s

Таблица 28

Дифференциация видов по обилию и постоянству
в сообществах с Аккермановских и Новокиевского отвалов

Вид	№ фитоценоза
	11111111112222 12345678901234567890123
<i>Achillea nobilis</i>	SS-SSSSS -SS+-SSS++++-
<i>Elytrigia trichophora</i>	--E-----E-E-----
<i>Leymus ramosus</i>	--E-----E-E---+---E----
<i>Artemisia austriaca</i>	SS+SS++0SSSS--S--S--+
<i>A.campestris</i>	-----S-S-E-E---S-+-00
<i>A.marschalliana</i>	S--SSS0++00---+++++--
<i>A.sieversiana</i>	-----+---S-E-----
<i>Cirsium arvense</i>	-E-SSSSS-SS--SS--+0S+
<i>Convolvulus arvensis</i>	E-----E---E-----
<i>Erysimum cheiranthoides</i>	-S-S--SS--+-SS+-S-
<i>Festuca valesiaca</i>	-S-SS++00+C---+SOS+-
<i>Gypsophila paniculata</i>	-S--S-SSSSS-----S-S---
<i>Hyoscyamus niger</i>	-----+-----
<i>Isatis costata</i>	-SSS--S-----S-
<i>Lactuca tatarica</i>	SSSSSSS-SS-SS++S+0S++
<i>Lappula squarrosa</i>	-S-----E-----
<i>Melilotus albus</i>	---++++--SS-0S+S+CSS0
<i>M.officinalis</i>	-----S-----+SSSS--S0
<i>M.wolgicus</i>	S+-----+E--0S--+S--0
<i>Rumex crispus</i>	-----S--S-S--SS--++0+
<i>Silene sp.</i>	-S+E--E-----+---
<i>Setaria viridis</i>	-----S-----
<i>Elytrigia repens</i>	-S-----SS-----
<i>Anthemis tinctoria</i>	-S-----+S-----
<i>Artemisia dracunculus</i>	---SS-SSSSS---+-----
<i>A.frigida</i>	SS+0SSS--0S-----
<i>A.sericea</i>	-----S--SE-----
<i>Astragalus wolgensis</i>	---SS+S-S+------
<i>Axyris amaranthoides</i>	SS+-----
<i>Bromopsis inermis</i>	-S-S-S--S-----
<i>Carduus crispus</i>	-S-SSSSSSS-----
<i>C.uncinatus</i>	-SSS-SS-SS-----

отражает взаимоотношения видов в сообществах возрастного ряда с учетом их обилия.

По 1-му фактору с весомыми нагрузками выделилась группа «старых» сообществ, по 2-му — «молодых». В соответствии с этим в факторном пространстве расположились виды, связанные с соответствующими группами сообществ.

В первом секторе выделились виды, присущие только группе «старых» сообществ, во втором — только «молодых», в третьем сосредоточены индифферентные виды, присутствующие в сообществах независимо от их возраста. Причем положение вида в третьем секторе ближе к первому указывает на более тесную его связь с группой «старых», а ко второму — с группой «молодых» сообществ. Если нахождение в секторе определяется теснотой связи с группой сообществ этого фактора или показателем постоянства вида в определенных сообществах, то величина факторных нагрузок в значительной степени зависит от балла обилия, т. е. в конечном счете от «веса» вида в группе выделенных по фактору сообществ. Виды с факторной нагрузкой $> 0,5$ обычно присутствуют в одном-двух ценозах (либо в ценозах, приуроченных к определенной возрастной группе, либо не зависящих от возраста) и, как правило, с малым баллом обилия (sol, редко sp). Факторные нагрузки > 1 имеют виды, присутствующие в большинстве сообществ, а также в некоторых сообществах обязательно с высоким баллом обилия.

Смысловую значимость имеют отрицательные значения факторных нагрузок вида. Они показывают возможность присутствия вида в группе сообществ, выделенных по фактору. Чем выше абсолютная величина этого отрицательного значения, тем меньше возможность нахождения вида в определенной группе сообществ.

Комбинаторика видов по принципу Браун-Бланке позволила выделить следующие группы видов (табл. 28): 1) виды, характерные для всех описанных фитоценозов — это наиболее постоянные виды, которые встречаются в большинстве описанных фитоценозов или при малом постоянстве рассеяны по сообществам случайно; 2) виды, свойственные только Аккермановским отвалам; 3) виды, свойственные только Новокиевскому отвалу. Примерно половину флористического списка составляют случайные зашумляющие виды. Виды 2-й и 3-й группы можно считать дифференцирующими, так как именно они способствуют кластеризации сообществ по группам. Анализ этих групп с учетом факторных нагрузок по 0;1 и с учетом обилия вида позволяет определить стратегию вида в изученных фитоценозах техногенных ландшафтов. С учетом позиции вида в каждой из групп можно четко выделить виды, присутствующие только в «молодых» сообществах (как правило, типичные экспленты), виды, присутствующие только в «старых» сообществах, и виды, независимые от возраста сообществ. Последние, как правило,

Вид	Группа сообществ				
	I	II	III	IV	V
<i>P.hauptiana</i>	-	-	2,4	1,1	2,0
<i>Melilotus officinalis</i>	-	-	1,0	1,5	1,0
<i>Matricaria perforata</i>	-	-	0,2	-	0,9
<i>Agrostis tenuis</i>	-	-	-	0,3	0,5
<i>Koeleria cristata</i>	-	-	0,8	0,6	0,1
<i>Poa pratensis</i>	-	-	0,4	0,7	0,5

Примечания: I, II - группы сообществ на Аккермановских отвалах: I - 1-5-летние, II - 7-33-летние; III - V - группы сообществ на Новокиевском отвале: III - 2-6-летние, IV - 10-18-летние на ровной поверхности, V - 10-18-летние в переувлажненных понижениях.

0,8, а третьего — 0,3. Первые два вида описаны в молодых сообществах со случайным и бедным видовым составом, последний — в более сформированном.

При большом числе видов анализ таблиц факторных нагрузок как по главным компонентам, так и по общим факторам весьма затруднителен, хотя дает четкое представление о роли вида в анализируемых сообществах.

Взаимоотношения видов, как и сообществ, могут быть представлены в геометрической форме. Положение вида в факторном пространстве определяется величиной факторных нагрузок. Распределение видов в факторном пространстве — это своего рода факторная модель флоры. Удобным примером в этом отношении является флора разновозрастных отвалов Аккермановского месторождения, где все виды разделились по двум главным компонентам (рис. 19). Расположение видов в факторном пространстве

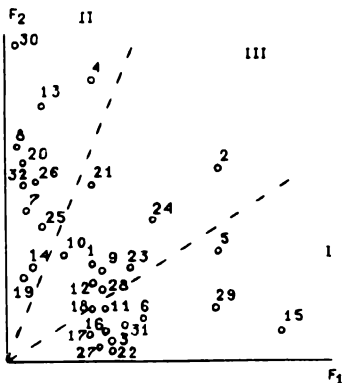


Рис. 19. Положение видов в факторном пространстве:

1 — *Achillea millefolium*; 2 — *Agrostis gigantea*; 3 — *Alyssum turkestanicum*; 4 — *Anthemis tinctoria*; 5 — *Eremogone longifolia*; 6 — *Artemisia absinthium*; 7 — *A. austriaca*; 8 — *A. campestris*; 9 — *A. frigida*; 10 — *A. lerchiana*; 11 — *A. sieversiana*; 12 — *Aster alpinus*; 13 — *Astragalus onobrychis*; 14 — *A. sulcatus*; 15 — *Atriplex nitens*; 16 — *A. tatarica*; 17 — *Axyris amaranthoides*; 18 — *Erucastrum armoracoides*; 19 — *Carduus crispus*; 20 — *Centaurea diffusa*; 21 — *C. scabiosa*; 22 — *Crepis tectorum*; 23 — *Oberna behen*; 24 — *Cynoglossum officinale*; 25 — *Descurainia sophia*; 26 — *Dianthus andrzejowskianus*; 27 — *Draconecephalum thimiflorum*; 28 — *Echium vulgare*; 29 — *Eryngium planum*; 30 — *Euphorbia volgensis*; 31 — *Hyoscyamus niger*; 32 — *Inula britannica*

Таблица 27

Факторные нагрузки видов с Аккермановских и Новокиевского
отвалов по группам сообществ (d^2 - метод Кайзера, анализ
с учетом обилия видов)

Вид	Группа сообществ				
	I	II	III	IV	V
<i>Polygonum aviculare</i>	4,3	-	6,6	-	-
<i>Erucastrum armoracioides</i>	2,5	-	0,5	-	-
<i>Atriplex tatarica</i>	2,8	-	6,3	0,6	-
<i>Artemisia frigida</i>	3,3	1,2	-	0,2	-
<i>Axyris amaranthoides</i>	1,5	-	-	-	-
<i>Carduus uncinatus</i>	1,0	0,6	-	-	-
<i>Crepis tectorum</i>	1,5	-	-	-	-
<i>Erysimum diffusum</i>	0,7	-	-	-	-
<i>Kochia prostrata</i>	-	-	2,3	0,1	-
<i>Lepidium ruderae</i>	-	-	2,0	-	-
<i>Artemisia austriaca</i>	3,2	3,7	0,7	0,7	0,3
<i>A. marschalliana</i>	2,0	3,9	1,1	3,7	0,6
<i>Lactuca tatarica</i>	1,8	1,1	2,3	2,9	2,8
<i>Melilotus albus</i>	1,9	3,0	0,8	3,3	4,3
<i>Achillea nobilis</i>	0,7	1,2	1,6	2,0	2,4
<i>Festuca valesiaca</i>	0,8	5,0	1,5	4,3	1,0
<i>Cirsium arvense</i>	0,4	1,0	0,3	0,7	2,0
<i>Erysimum cheiranthoides</i>	0,3	0,4	0,6	1,3	-
<i>Gypsophila paniculata</i>	0,3	1,3	-	0,9	-
<i>Poa angustifolia</i>	0,7	3,5	0,5	1,7	-
<i>Medicago falcata</i>	0,8	1,9	-	0,3	-
<i>Astragalus wolgensis</i>	0,5	1,4	-	-	-
<i>Carduus crispus</i>	0,6	1,3	-	-	-
<i>Cichorium inthybus</i>	0,3	1,1	-	-	-
<i>Galium verum</i>	0,2	1,0	-	0,3	-
<i>Oenothera sylvatica</i>	-	0,7	-	-	-
<i>Gypsophila altissima</i>	0,1	0,8	-	-	-
<i>Linaria vulgaris</i>	-	1,0	-	-	-
<i>Oxytropis pilosa</i>	0,6	1,2	-	-	-
<i>Salvia stepposa</i>	-	0,4	-	-	-
<i>Senecio jacobaea</i>	-	1,2	-	-	-
<i>Bromopsis inermis</i>	-	0,1	-	-	-
<i>Centaurea scabiosa</i>	-	0,1	-	-	-
<i>Crepis tectorum</i>	-	0,1	-	-	-
<i>Artemisia campestris</i>	-	0,2	0,4	0,5	2,4
<i>Rumex crispus</i>	-	-	0,3	0,2	1,9
<i>Agrostis gigantea</i>	-	-	-	0,6	3,1
<i>Artemisia lerschiana</i>	-	-	4,0	4,7	3,5
<i>Juncus bufonius</i>	-	-	-	-	2,2
<i>Inula britannica</i>	-	-	0,6	0,2	2,5
<i>Puccinellia distans</i>	-	-	2,7	1,0	2,0

Вид	Группа сообществ				
	I	II	III	IV	V
<i>Galium verum</i>	-	-	1,7	0,4	-
<i>Omalotheca sylvatica</i>	-	-	0,9	-	-
<i>Gypsophila altissima</i>	-	-	1,5	-	-
<i>Hedysarum grandiflorum</i>	-	-	0,3	-	-
<i>Linaria vulgaris</i>	-	-	1,6	-	-
<i>Medicago falcata</i>	0,5	-	2,1	0,5	-
<i>Oxytropis pilosa</i>	0,4	-	1,7	0,3	-
<i>Poa angustifolia</i>	0,1	0,1	2,1	1,1	0,1
<i>Plantago salsa</i>	-	-	0,2	-	-
<i>Salvia stepposa</i>	-	-	0,5	-	-
<i>Saussurea alpina</i>	-	-	0,3	-	-
<i>Scorzonera stricta</i>	0,2	-	0,9	-	-
<i>Senecio jacobaea</i>	-	-	1,9	-	-
<i>Isatis costata</i>	0,9	-	-	-	-
<i>Kochia prostrata</i>	0,4	1,3	-	-	-
<i>K.scoparia</i>	0,9	-	-	-	-
<i>Agrostis gigantea</i>	-	-	-	0,9	2,0
<i>A.tenuis</i>	-	-	-	0,4	0,9
<i>Artemisia lerchiana</i>	-	2,6	-	2,7	2,9
<i>A.sieversiana</i>	-	0,8	-	0,2	-
<i>Juncus bufonius</i>	-	-	-	-	1,0
<i>Koeleria cristata</i>	-	0,2	-	1,5	1,0
<i>Inula britannica</i>	-	0,3	-	1,6	2,0
<i>Matricaria perforata</i>	-	0,7	-	-	1,0
<i>Melilotus officinalis</i>	-	0,2	-	2,4	1,5
<i>Poa pratensis</i>	-	-	-	1,4	1,5
<i>Puccinellia distans</i>	-	2,3	-	1,3	-
<i>P.hauptiana</i>	-	2,3	-	1,3	-
<i>Stipa korshinskyi</i>	-	-	-	0,7	0,2

П р и м е ч а н и я: I, III - группы сообществ на Аккермановских отвалах: I - 1-5-летние, III - 7-33-летние; II, IV, V - группы сообществ на Новокиевском отвале: II - 2-6-летние, IV - 10-18-летние на ровной поверхности, V - 10-18-летние в переувлажненных понижениях.

ких сообществах группы более высокий балл обилия; чем он выше, тем больше величина факторной нагрузки. Факторная нагрузка вида определяется его значимостью именно в группе сообществ, выделенных по этому фактору. Например, белена черная (*Hyoscyamus niger*), пупавка красильная (*Anthemis tinctoria*), астрагал датский (*Astragalus danicus*) имеют III класс постоянства в своей группе сообществ с обилием sol, факторные нагрузки первых двух

ществ показывают значения факторных нагрузок (табл. 26, 27). Величина факторной нагрузки определяется степенью постоянства вида и его обилием в группе сообществ, выделенных по этому фактору (см. табл. 24).

Группу сообществ, которые выделяются по какому-либо фактору с весомой нагрузкой (обычно $>0,5$), организуют один или несколько видов, имеющих высокий класс постоянства и высокий балл обилия, и виды, положительно скоррелированные с ними. Факторную нагрузку от 0,5 до 1,5 имеют виды с высоким классом постоянства (VIII—X), но малым обилием (sol). Виды с факторными нагрузками свыше 1,5 обычно имеют в одном или несколь-

Таблица 26

Факторные нагрузки видов с Аккермановских и Новокиевского отвалов по группам сообществ (\mathcal{L} -метод Кайзера, анализ по отсутствию-присутствию видов)

Вид	Группа сообществ				
	I	II	III	IV	V
<i>Achillea nobilis</i>	1,9	3,1	1,3	3,0	2,6
<i>Artemisia austriaca</i>	2,7	1,8	2,0	1,0	1,1
<i>A. marschalliana</i>	0,8	-0,2	2,5	2,2	1,5
<i>Atriplex tatarica</i>	2,2	2,8	-0,8	0,8	0,1
<i>Erucastrum armoracioides</i>	2,5	0,3	0,4	0,4	-0,5
<i>Cirsium arvense</i>	0,5	0,1	1,6	1,3	2,1
<i>Erysimum cheiranthoides</i>	0,7	0,4	0,4	1,6	0,1
<i>Festuca valesiaca</i>	0,8	0,2	2,3	2,3	1,1
<i>Gypsophila paniculata</i>	0,3	-0,2	1,7	1,5	-
<i>Lactuca tatarica</i>	2,7	2,7	1,6	3,1	2,8
<i>Melilotus albus</i>	1,7	2,3	1,4	3,3	2,8
<i>M. wolgicus</i>	0,7	-	-	1,4	1,4
<i>Polygonum aviculare</i>	2,5	2,6	-0,8	0,3	0,1
<i>Rumex crispus</i>	-0,5	0,2	0,3	0,8	2,7
<i>Artemisia campestris</i>	-0,2	0,7	0,4	0,7	1,3
<i>A. dracunculus</i>	-	-0,6	1,8	0,1	-0,4
<i>A. frigida</i>	2,1	-0,4	1,4	-	-
<i>Astragalus wolgensis</i>	0,2	-	1,8	0,4	-
<i>Axyris amaranthoides</i>	1,4	-	-0,5	-0,5	-
<i>Bromopsis inermis</i>	0,3	-0,4	0,2	-0,5	-
<i>Carduus crispus</i>	0,6	-	2,0	-	-
<i>C. uncinatus</i>	1,4	-	1,3	-	-
<i>Cichorium inthybus</i>	0,2	-	1,7	-	-
<i>Crepis tectorum</i>	0,5	-	-	-	-
<i>Centaurea scabiosa</i>	-	-	0,3	-	-
<i>Cynoglossum officinale</i>	-	-	0,4	-	-
<i>Oberna behen</i>	1,9	-	0,5	-	-
<i>Erysimum diffusum</i>	1,0	-	0,3	-	-

ществ на отвалах одного и того же месторождения, «молодых» с «молодыми» (фактор 4 с факторами 5 и 6) разных месторождений, «старых» на ровной поверхности Новокиевского и «старых» Аккермановских отвалов (фактор 1 и фактор 3). В первом случае связь определяется возрастом, во втором — сходными условиями увлажнения (ксерофитные местообитания).

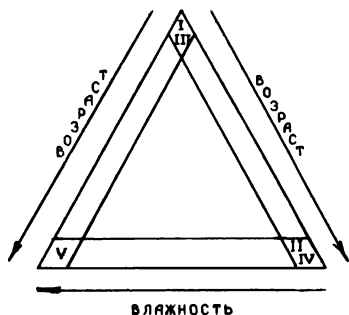


Рис. 18. Общая схема формирования фитоценозов на отвалах Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений. Римскими цифрами обозначены группы фитоценозов, выделенные при факторном анализе (пояснение в тексте)

В обобщенном виде схема формирования растительных сообществ на рассмотренных отвалах может быть представлена пирамидальной диаграммой, когда возрастной ряд осложняется сильнодействующим фактором, в данном случае это влажность субстрата (рис. 18). Равноценным может быть эдафический фактор, комплексно отражающий водно-физические и химические свойства пород, слагающих отвал. С возрастом в зависимости от выраженности этих свойств происходит дивергенция фитоценозов (от непригодных фитотоксичных через малопригодные до потенциально плодородных — ГОСТ 17.5.1.03—86) со всеми многочисленными переходами. Прямодействующими факторами выступают химизм и каменистость субстрата, а комплексным фактором, косвенно обусловленным высотой отвала, рельефом, водно-физическими свойствами пород, — градиент влажности местообитаний. Все эти факторы действуют на фоне общих зонально-климатических условий.

Многомерные математические методы, особенно метод главных компонент и факторный анализ (α -метод Кайзера), дают возможность более глубокого анализа флоры отвалов. Группы видов, имеющие весомые положительные нагрузки по главным (общим) факторам, четко связаны с сообществами, выделяющимися по этим осям. Связь биологически легко интерпретируется, так как в основе метода лежит корреляционная матрица, вычисленная по флористическим спискам сообществ, которая определяет взаимоотношения видов через их отсутствие (присутствие) и балл обилия в определенном фитоценозе. Чувствительным показателем оказалась вариабельность обилия вида в описываемых сообществах. Приуроченность видов к определенной (из названных выше) группе сооб-

групп, выделенных по этим факторам. Сопоставление этих двух таблиц позволяет провести идентификацию общих факторов по анализу 0;1 и с учетом обилия видов.

Группы фитоценозов, имеющие значимые нагрузки по 1-му и 2-му факторам, одинаковы — это соответственно «старые» сообщества Аккермановских (II группа) и «старые» понижений Новокиевского отвалов (IV группа). Показатель общности фитоценозов внутри этих групп достаточно высок (соответственно 0,85 и 0,78 с учетом обилия и 0,74 по 0;1), а корреляционная связь между группами слабая (0,03 по анализу 0;1 и 0,2 с учетом обилия). Это самые своеобразные группы как по видовому составу, так и с учетом обилия видов. При анализе данных табл. 25 следует иметь в виду, что только 1-й и 2-й факторы идентичны по группе сообществ при анализе 0;1 и с учетом обилия видов. Фактору 3 при анализе 0;1 соответствуют 5-й и 6-й факторы нижней матрицы, по которым выделилась группа «молодых» сообществ Новокиевского отвала. По 5-му фактору выделились сообщества с доминированием горца птичьего, по 6-му — лебеды татарской. Группа IV «старых» сообществ Новокиевского отвала, сформировавшихся на ровной поверхности, в верхней матрице соответствует 4-му, а в нижней — 3-му фактору. «Молодые» сообщества Аккермановских отвалов (группа I) выделились при анализе 0;1 и с учетом обилия видов соответственно по 6-му и 4-му факторам.

Таблица 25

Корреляционная матрица связи общих факторов
(на основе флористического списка двух месторождений)

Фактор	1	2	3	4	5	6
1	<u>0,74</u> 0,85	0,03	-0,13	0,24	0,58	0,27
2	0,20	<u>0,74</u> 0,78	0,45	0,60	0,25	0,12
3	0,47	0,57	<u>0,72</u> 0,79	0,42	0,25	0,33
4	0,40	0,06	0,22	<u>0,71</u> 0,72	0,47	0,29
5	-0,07	0,28	0,24	0,34	<u>0,73</u> 0,85	0,50
6	0,08	0,44	0,51	0,31	0,60	<u>0,58</u> 0,79

Примечания: 1. В верхней части матрицы — анализ по отсутствию (присутствию) видов, в нижней — с учетом их обилия. 2. По диагонали приведен показатель общности фитоценозов рассматриваемых факторов (числитель — анализ 0;1; знаменатель — с учетом обилия видов).

В целом прослеживается несколько направлений корреляционной связи рассмотренных фитоценозов: «молодых» и «старых» сооб-

Подводя формальный итог кластеризации фитоценозов, можно констатировать четкое выделение пяти групп:

I — «молодые» сообщества Аккермановских отвалов;

II — «старые» сообщества Аккермановских отвалов;

III — «молодые» сообщества Новокиевского отвала;

IV — «старые» сообщества ровной поверхности Новокиевского отвала;

V — «старые» сообщества понижений Новокиевского отвала.

В дальнейшем наряду с анализом отдельных сообществ применяется анализ по этим выделенным группам.

Как уже отмечалось, для проверки устойчивости полученных результатов проведен анализ общего флористического списка отвалов Аккермановского и Новокиевского месторождений, включающего уже не 11 и 12, а 23 растительных сообщества и 142 вида (вместо 78 и 102). Структура корреляционной матрицы усложнилась. Недостатком метода главных компонент является независимость (ортогональность) выделенных компонент (факторов). Поэтому невозможно определить величину связи между группами сообществ, выделенных по главным компонентам (факторам), что представляется достаточно важным. Недостаток снимается применением факторного анализа (α -метод Кайзера), который позволяет глубже проанализировать связи между выделенными по общим факторам группами растительных сообществ.

Этот метод при ординации фитоценозов акцентировал дискретность с учетом непрерывности как по отсутствию (присутствию) видов, так и с учетом их обилия (см. табл. 24). Кроме того, он позволил установить количественную степень связи общих факторов (табл. 25, рис. 17) и показатель общности фитоценозов внутри

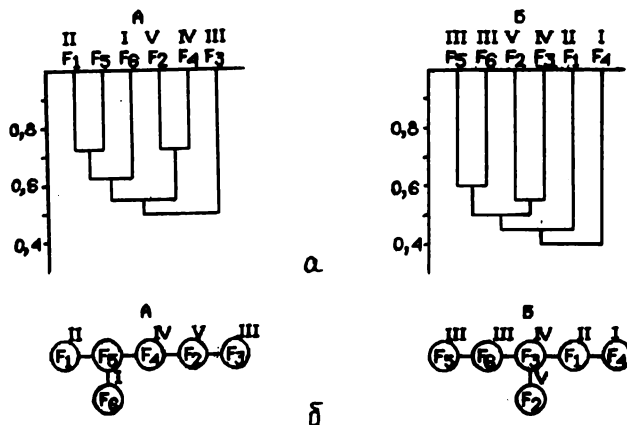


Рис. 17. Дендрограмма (а) и граф сходства (б) общих факторов на основе корреляционной матрицы.

Римские цифры обозначают группы фитоценозов, выделенные при факторном анализе (пояснение в тексте)

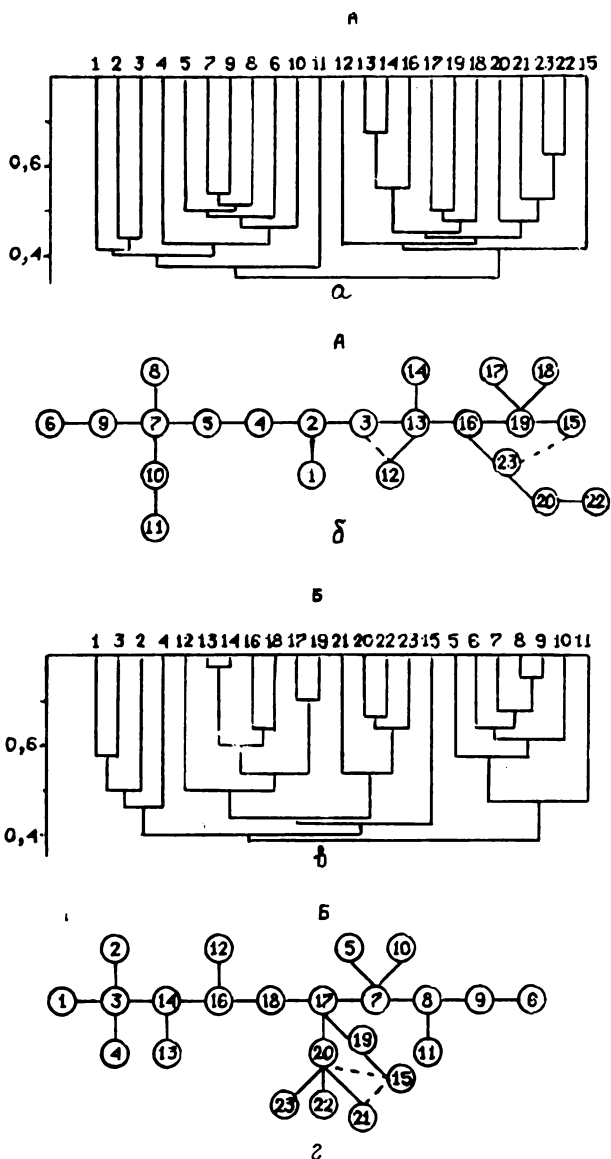


Рис. 16. Дендрограммы (а, в) и графы сходства (б, г) разновозрастных фитоценозов Аккермановских и Новокиевского отвалов на основе корреляционной матрицы по флористическим спискам (совместный анализ): 1—11 — разновозрастные фитоценозы Аккермановских отвалов; 12—23 — Новокиевского отвала: 12—15 — 2—4—6—10 лет; 16—19 — 12—14—16—18 лет на равной поверхности; 20—23 — такого же возраста в понижениях

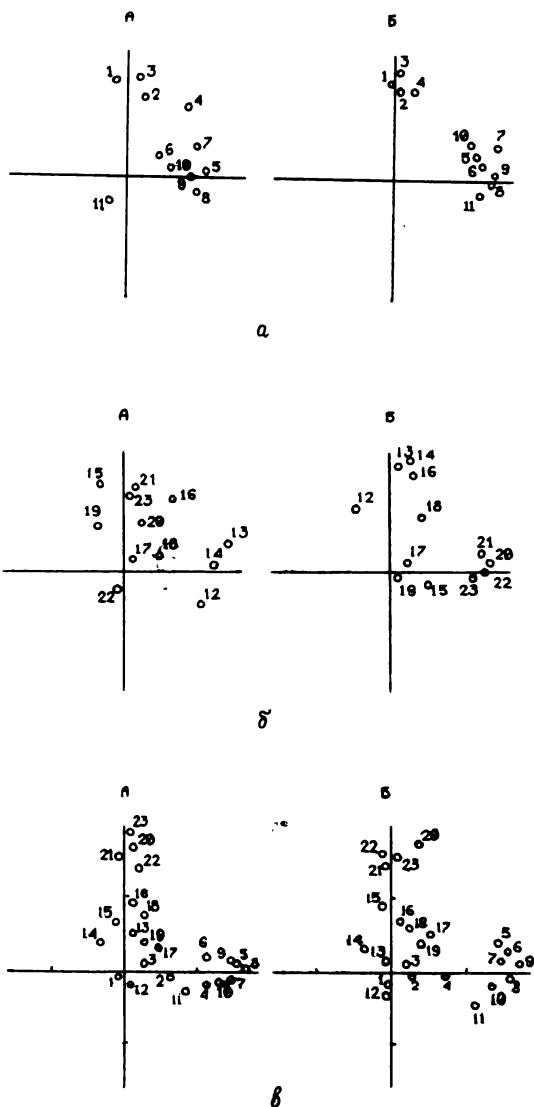


Рис. 15. Положение в факторном пространстве разновозрастных фитоценозов Аккермановских и Новокиевского отвалов:

a — Аккермановские отвалы: 1—11 — фитоценозы соответственно 1—3—5—7—11—13—15—18—21—24—23 лет; *б* — Новокиевский отвал: 12—15 — фитоценозы 2—4—6—10 лет, 16—19 — 12—14—16—18 лет на ровной поверхности; 20—23 — такого же возраста в понижениях; *в* — совместный анализ разновозрастных фитоценозов Аккермановских и Новокиевского отвалов; 1—11 — фитоценозы соответственно 1—3—5—7—11—13—15—18—21—24—33 лет Аккермановских отвалов; 12—15 — 2—4—6—10 лет Новокиевского отвала; 16—19 и 20—23 соответственно 12—14—16—18 лет на ровной поверхности и в понижениях этого же отвала

сообществ отвалов проведена по разновозрастным участкам, более интересным получился анализ флоры по группам сообществ, выделенным факторным анализом (табл. 29). При формировании фитоценозов на отвалах с первых лет идет спонтанное поселение как однолетних, так и многолетних видов. На Аккермановских отвалах на однолетнем участке из 14 поселившихся видов лишь 1/3 часть — однолетники, но вследствие высокой энергии семенного размножения фон создают именно они, в данном случае птичья гречишка и кохия веничная.

На 1—7-летних участках (сообщества I группы) доля многолетников независимо от возраста участка колеблется от 22 до 63%, а однолетников от 9 до 28%. Начиная с 11-летнего возраста доля многолетников неуклонно возрастает с 73 до 90%. На 33-летнем участке из 58 видов 52 — многолетники. В целом по 1-й группе многолетники составляют 60%, а однолетники — 16,4%, по II группе (фитоценозы старше 10 лет) соответственно 75,6 и 3,3%. Такая же закономерность увеличения с возрастом фитоценозов доли многолетников прослеживается на Новокиевском отвале как по группам, так и по отдельным разновозрастным участкам.

Как уже отмечалось выше, фитоценозы разновозрастных участков Аккермановских отвалов представляют собой четкий возрастной, а Новокиевского — возрастно-экологический ряд. Анализ флоры по экологическим группам по отношению к влаге (экоморфам) показал, что исходная группа «молодых» сообществ на Новокиевском отвале более мезофитна, чем на Аккермановских. При сходном участии ксерофитов и мезоксерофитов доля мезофитов на этих отвалах соответственно 30 и 16,4%, а ксеромезофитов — 27,5 и 38,2%. С возрастом на Аккермановских отвалах и ровной поверхности Новокиевского наблюдается некоторая ксерофитизация фитоценозов за счет увеличения числа (особенно на Аккермановских — в 2,2 раза) и доли мезоксерофитов. Экологический спектр этих групп сообществ (II и IV) сходен. В западинах Новокиевского отвала с возрастом происходит гигромезофитизация фитоценозов. Экологический спектр их более сходен с «молодыми», чем с разновозрастными фитоценозами на этом отвале. Уже 8,9% составляют гигрофиты, т. е. вполне возможна дальнейшая гигрофитизация фитоценозов.

Структура флоры по жизненным формам Раункиера отражает общие тенденции смены видового состава с возрастом фитоценозов и в какой-то степени в связи с эдафическими условиями. Группы «молодых» фитоценозов (I и III) имеют сходную структуру по жизненным формам: при абсолютном и относительном (50—53%) преобладании гемикриптофитов 1/4 часть составляют терофиты. С возрастом резко сокращается доля терофитов (до 6,7—7,8%), за счет чего возрастает абсолютное число и доля гемикриптофитов на Аккермановских отвалах (до 66,7%), абсолютное число и доля

Таблица 29

**Сравнительная биоэкологическая характеристика групп сообществ
с Аккермановских и Новокиевского отвалов**

Группы видов	Группа сообществ									
	I		II		III		IV		V	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Продолжительность жизни										
Однолетники	9	16,4	3	3,3	7	17,5	1	2,2	3	6,7
Одно-двулетники	7	12,7	9	10,0	9	22,5	8	17,8	7	15,6
Двулетники	6	10,9	8	8,9	3	7,5	1	2,2	2	4,4
Дву-многолетники	—	—	2	2,2	—	—	—	—	—	—
Многолетники	33	60,0	68	75,6	21	52,5	35	77,8	33	73,3
Экоморфа (гидроморфа)										
Гигрофиты	—	—	1	1,1	—	—	—	—	4	8,9
Мезофиты	9	16,3	16	17,8	12	30,0	10	22,2	14	31,1
Ксеромезофиты	21	38,2	29	32,2	11	27,5	14	31,1	14	31,1
Мезоксерофиты	15	27,3	33	36,7	11	27,5	16	35,6	10	22,2
Ксерофиты	10	18,2	11	12,2	6	15,0	5	11,1	3	6,7
Жизненная форма по Раукингеру										
Терофиты	14	25,5	7	7,8	10	25,0	4	8,9	3	6,7
Геофиты	8	14,5	13	14,4	6	15,0	10	22,2	10	22,2
Гемикриптофиты	29	52,7	60	66,7	20	50,0	26	57,8	27	60,0
Хамефиты	4	7,3	8	8,9	4	10,0	5	11,1	4	8,9
Фанерофиты	—	—	2	2,2	—	—	—	—	1	2,2
Способ распространения семян										
Автохоры	22	40,0	27	30,0	8	20,0	14	31,1	6	13,3
Анемохоры	4	7,3	12	13,3	4	10,0	2	4,4	7	15,6
Гемиянемохоры	13	23,6	15	16,7	14	35,0	19	42,2	18	40,0
Баллисты	12	21,9	28	31,1	7	17,5	7	15,6	7	15,6
Зоохоры	2	3,6	5	5,6	6	15,0	2	4,4	5	11,1
Прочие	2	3,6	3	3,3	1	2,5	1	2,2	2	4,4
Ландшафтно-зональная принадлежность										
Степные	19	34,6	39	43,3	8	20,0	18	40,0	8	17,8
Лугово-степные	7	12,7	16	17,8	2	5,0	5	11,1	6	13,3
Луговые	7	12,7	11	12,2	8	20,0	8	17,8	13	28,9
Сорные	22	40,0	24	26,7	22	55,0	14	31,1	14	31,1
Болотные	—	—	—	—	—	—	—	—	4	8,9

гемикриптофитов и геофитов на Новокиевском отвале. Значительная доля геофитов на Новокиевском отвале, по сравнению с Аккермановскими, объясняется более легким механическим составом его субстрата. Субстрат Аккермановских отвалов по механическому составу можно отнести к сильно каменистым средним и тяжелым суглинкам и легким глинам, а Новокиевского — к слабо каменистым легким суглинкам и супесям.

При анализе структуры отдельных разновозрастных фитоценозов при спонтанном колебании числа и доли геофитов, хамефитов и фанерофитов четко прослеживается год от года возрас-

тание числа и доли гемикриптофитов и, соответственно, уменьшение этих показателей для терофитов. На Аккермановских отвалах наряду с общим увеличением видового разнообразия число гемикриптофитов возрастает от 1- до 33-летних участков с 6 до 37, а доля соответственно с 43 до 64%. Доля терофитов снижается с 35,7 до 3,4%.

2.3. Связь растительности и среды при биологической рекультивации

Ботанические исследования играют важную роль на всех этапах биологической рекультивации. Промышленные отвалы — весьма своеобразные экотопы, при биологической рекультивации которых необходимо по возможности полно учесть все экологические факторы и определить реакцию растений на весь их взаимосвязанный комплекс. Сформировавшиеся при самозаращении фитоценозы выступают интегральным показателем степени пригодности отвалов для биологической рекультивации, а фитоценозы старых отвалов — наиболее информативным и доступным для изучения компонентом биогеоценозов.

На подготовительном этапе, при изучении вновь образованных отвалов или карьеров, в первую очередь решается альтернативный вопрос, пригодны или непригодны они для биологической рекультивации. Поселение растений на молодых (1—2-летних) отвалах или других типах техногенных образований без детального изучения агрохимических и водно-физических свойств субстрата свидетельствует о пригодности их для биологической рекультивации. Другое дело, что здесь сразу встает вопрос о степени пригодности. Поэтому для пригодных в дальнейшем необходимо установить степень пригодности, а для непригодных, при необходимости, — причины непригодности. Дальнейшее направление исследований определяется этими задачами. Причины непригодности выясняются при изучении агрофизических и агрохимических свойств субстрата с учетом возможности и интенсивности заноса диаспор на территорию.

Для определения степени пригодности, наряду с изучением свойств субстрата, значительную и важную информацию дает изучение формирующихся фитоценозов, особенно на старых, давно вышедших из сферы техногенного воздействия отвалах или карьерах.

Проблема связи растительности и среды разрабатывается с середины прошлого столетия и претерпела к настоящему времени существенные изменения от признания их тесной связи до показа на основе фактического материала ограниченной возможности индикации условий среды по растительности. В работах Б. М. Миркина и его учеников (Миркин, 1985; Карпов, Миркин, 1971; Карпов, Розенберг, 1975; Розенберг, 1975) указывается, что с помощью рас-

тельности можно различать такие эдафические факторы, как засоленность, гумусированность, скелетность почвы.

На нарушенных промышленностью землях лимитирующим фактором чаще всего выступает именно эдафический, а фитотоксичность субстрата определяется прежде всего его засоленностью и высокой кислотностью. Важное значение при определении пригодности пород в естественном их залегании и грунтосмесей отвалов имеет учет степени выветрелости пород, механического состава мелкозема, каменистости, которые в значительной степени определяют водно-физические свойства субстрата.

Связь растительности и среды изучалась в Коркинском угольном разрезе и на отвалах Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений. Характеристика экологических условий разреза, свойств пород с классификацией их по степени пригодности для биологической рекультивации приведена ранее (Чибрик, Красавин, 1981, 1983).

По экологическим условиям разрез представляет собой своеобразное техногенное образование. Более детальное их изучение показало, что лимитирующими факторами для поселения растений, а в конечном счете и для формирования растительных сообществ, являются высокая кислотность и сильное засоление субстрата.

В 1984 г. проведено сопряженное изучение растительности и свойств субстрата. Выделено 37 типичных участков, растительность которых охарактеризована флористическим списком с учетом обилия и встречаемости видов (табл. 30, 31), определена воздушно-сухая надземная масса (табл. 32). На каждом участке отобраны усредненные образцы субстрата под растительностью и без нее, в которых определены рН водной вытяжки и плотный остаток. Спектральным полуколичественным методом определен микроэлементный состав золы (сухое озоление) надземной массы растений. Сравнение растительных сообществ проводилось по флористическим спискам, где виды охарактеризованы по отсутствию (присутствию) в определенном сообществе и с учетом их обилия. При RQ-анализе флористических списков применялись многомерные математические методы: методы теории графов на основе корреляционной матрицы и метрик расстояния, факторный анализ. Наиболее экологически интерпретируемые результаты дали два варианта факторного анализа: метод главных компонент и α -метод Кайзера. Для сравнения растительных сообществ по химическому составу растений более приемлемым оказалось применение кластерного анализа на основе метрик расстояния.

Задача выделения свойств субстрата, обуславливающих его абсолютную непригодность для целей биологической рекультивации, решалась путем отбора образцов пород на каждом участке под растительностью и без нее. Непригодными для произрастания растений оказались сильнокислые ($\text{pH} < 3,5$) и сильнозасоленные породы.

Таблица 30

**Общая характеристика субстрата типичных участков
Коркинского угольного разреза**

№ участка	Глубина, м	Плотный остаток, %		рН	
		под растительностью	без растительности	под растительностью	без растительности
Южный борт					
1	0	0,06—0,17	—	7,7—8,8	—
2	10	0,94—2,65	0,44—1,0	7,5—8,5	3,6—4,8
3	10	0,33—0,47	—	7,6—7,7	—
4	30	1,0	—	4,9—5,5	—
5	30	0,67—1,12	0,76—2,04	4,2—4,7	3,6—5,0
6	40	1,44—1,62	1,16	5,5—8,3	3,2
7	40	1,88—3,23	1,06—3,23	5,5—7,8	3,1—3,6
8	80	0,09—0,29	0,12—0,14	8,3	7,5—8,4
9	130	1,30—1,65	—	7,6—7,9	—
10	150	0,03—0,21	1,49—2,94	6,4—7,5	7,5—8,5
11	150	0,76—0,85	1,16—3,01	5,0—6,8	4,1—5,6
12	150	0,60—1,22	1,46—2,35	4,6—6,6	4,0—4,8
13	180	0,83—1,23	1,42—2,57	5,4—6,6	3,4—4,6
14	215	—	—	—	—
15	225	0,10—0,57	—	6,7—8,3	—
16	237	—	0,84—1,25	—	3,6—5,1
17	247	1,41	1,70—3,84	6,7	2,7—3,2
18	323	1,18	1,18—2,60	7,7	5,7—7,7
Юго-восточный борт					
19	90	0,48—0,69	0,30—2,47	7,1—7,3	4,0
20	130	0,51—0,65	0,05—0,19	6,9—7,3	7,0—8,0
21	170	0,12—1,12	—	5,8—6,8	—
22	190	0,07—1,12	0,05—0,15	7,2—7,9	7,3—7,7
23	220	0,10—1,19	0,53	7,4—7,7	6,7—7,5
Юго-западный борт					
24	0	0,06—0,19	—	7,7—7,9	—
25	33	0,10—2,64	—	6,3—7,3	—
26	110	0,10	0,13—1,08	7,1	6,9—8,0
Западный борт					
27	0	0,05—0,34	—	6,8—7,5	—
28	112	0,10	0,23—0,72	7,3—7,5	7,3—8,3
Северный борт					
29	0	0,05—0,21	—	7,1—7,8	—
30	38	—	1,75—3,82	—	6,8—7,4

На них растения в разрезе не зафиксированы. При иных свойствах пород без растительности оказались сильнокаменистые, уплотненные участки, лимитирующими оказались водно-физические свойства субстрата, а также склоновые поверхности, подверженные сильной эрозии, в основном водной. Существенное влияние эрозионных процессов связано с значительной площадью склоновых поверхностей и с тем, что выветривание большинства вскрышных пород идет медленно и образовавшийся мелкозем оказывается на поверхности крепких, уплотненных пород с малой водопроницаемостью.

Таблица 31

Общая характеристика энтоценозов Коркинского угольного разреза

№ участка	Число видов	Преобладающие виды
1	37	cop ₁ - <i>Artemisia dracunculus</i> , <i>A. vulgaris</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Linaria vulgaris</i>
2	39	cop ₃ - <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Cirsium arvense</i> cop ₂ - <i>Hordeum brachyantherum</i> , <i>Melilotus albus</i>
3	42	sp - <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i>
4	40	cop ₁ - <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i>
5	18	cop ₂ - <i>Calamagrostis epigeios</i>
6	29	
7	20	sol gr - <i>Saussurea amara</i>
8	30	cop ₁ gr - <i>Calamagrostis epigeios</i> sp gr - <i>Achillea nobilis</i> , <i>Cirsium arvense</i>
9	16	sp gr - <i>Elytrigia repens</i>
10	40	cop ₂ - <i>Calamagrostis epigeios</i>
11	21	sp - <i>Hordeum brachyantherum</i> sol gr - <i>Elytrigia repens</i> , <i>Phragmites australis</i>
12	18	sp - <i>Phragmites australis</i> , <i>Puccinellia distans</i> sol gr - <i>Hordeum brachyantherum</i>
13	20	sp gr - <i>Aster amelloides</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i> , <i>Puccinellia distans</i> , <i>Tussilago farfara</i>
14	31	sp gr - <i>Puccinellia distans</i> sol gr - <i>Elymus caninus</i> , <i>Elytrigia repens</i>
15	27	cop ₃ - <i>Artemisia absinthium</i>
16	7	cop ₁ - <i>Kochia scoparia</i>
17	10	cop ₂ - <i>Kochia scoparia</i>
18	13	cop ₃ - <i>Kochia scoparia</i>
19	39	cop ₃ gr - <i>Hordeum brachyantherum</i> cop ₃ - <i>Calamagrostis epigeios</i> sp - <i>Elytrigia repens</i>
20	44	cop ₃ - <i>Calamagrostis epigeios</i> sp - <i>Convolvulus arvensis</i> , <i>Hieracium umbellatum</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i> , <i>Saussurea amara</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Tussilago farfara</i>
21	39	cop ₃ - <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i> sp gr - <i>Elytrigia repens</i> , <i>Solanum dulcamara</i>
22	37	sp - <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Tussilago farfara</i>
23	29	sp gr - <i>Lactuca tatarica</i> , <i>Sisymbrium loeseli</i> sp - <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i> , <i>Kochia scoparia</i> , <i>Lactuca serriola</i> , <i>Salsola collina</i>
24	35	cop ₁ - <i>Poa pratensis</i> sp gr - <i>Linaria vulgaris</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Rorippa amphibia</i> , <i>Taraxacum officinale</i> sp - <i>Achillea millefolium</i> , <i>Berteroa incana</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Trifolium arvense</i>

№ участка	Число видов	Преобладающие виды
25	30	cop ₃ - Calamagrostis epigeios sp gr- Achillea millefolium sp- Medicago lupulina, Melilotus officinalis, Odontites vulgaris
26	29	cop ₃ - Calamagrostis epigeios sp gr- Taraxacum officinale, Tussilago farfara sp- Lactuca tatarica, Melilotus albus, Odontites vulgaris
27	44	cop ₃ - Calamagrostis epigeios sp gr- Apera spica-venti, Festuca pratensis, Medicago lupulina, Poa pratensis, Trifolium repens, Tussilago farfara, sp- Berteroa incana, Odontites vulgaris, Trifolium pratense, Vicia cracca
28	23	sp gr- Kochia scoparia sp- Puccinellia distans, Tussilago farfara
29	54	cop ₃ - Elytrigia repens sp gr- Bromopsis inermis sp- Convolvulus arvensis, Puccinellia distans, Saussurea amara, Taraxacum officinale, Vicia sepium
30	29	cop ₃ gr- Festuca pratensis sp- Kochia scoparia, Salsola collina
31	45	cop ₃ - Calamagrostis epigeios, Festuca ovina sp- Berteroa incana, Chamaerion angustifolium, Cirsium arvense, Convolvulus arvensis, Elytrigia repens, Lactuca tatarica, Linaria vulgaris, Melilotus albus, Pastinaca sylvestris, Pimpinella saxifraga, Potentilla argentea, Silene dichotoma, Solanum dulcamara, Trifolium pratense, Tussilago farfara, Vicia cracca
32	51	sp gr- Puccinellia distans sp- Achillea nobilis, Artemisia absinthium, A. vulgaris, Atriplex patula, Berteroa incana, Elytrigia repens, Festuca pratensis, Linaria vulgaris, Medicago lupulina, Odontites vulgaris, Phragmites australis, Saussurea amara, Sonchus arvensis, Taraxacum officinale, Trifolium pratense, Tussilago farfara, Vicia cracca
33	40	sp- Calamagrostis epigeios, Elytrigia repens, Lactuca tatarica, Sonchus arvensis, Tussilago farfara
34	24	cop ₃ - Salsola collina sp- Achillea nobilis

№ участка	Число видов	Преобладающие виды
35	51	sol gr- <i>Calamagrostis epigeios</i> cop ₃ - <i>Calamagrostis epigeios</i> sp gr- <i>Astragalus sulcatus</i> , <i>Melilotus albus</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Rumex acetosa</i>
36	35	sp- <i>Linaria vulgaris</i> , <i>Tussilago farfara</i> cop ₂ - <i>Calamagrostis epigeios</i> sp- <i>Chamaerion angustifolium</i> , <i>Hordeum brachyantherum</i>
37	40	cop ₃ - <i>Lathyrus pratensis</i> cop ₂ - <i>Calamagrostis epigeios</i> sp gr- <i>Tussilago farfara</i> sp- <i>Poa pratensis</i> sol-sp gr- <i>Trifolium repens</i>

П р и м е ч а н и е. Номера участков соответствуют номерам фитоценозов в табл. 32 - 35.

При дождях и с потоком талых вод он смывается вместе с попавшими семенами и слабо укоренившимися проростками. Это сильно задерживает формирование фитоценозов даже при подходящих эдафических условиях.

При благоприятной реакции среды на незасоленных и даже сильнозасоленных породах наблюдается формирование растительных сообществ. В этом случае решалась задача определения степени пригодности этих пород для произрастания растений, а следовательно, и для биологической рекультивации. При описании растительных сообществ определялся их флористический состав, преобладающие виды, величина надземной массы, доля в ней злаков, бобовых и разнотравья (см. табл. 31, 32).

Определение степени пригодности отвалов и других типов нарушенных промышленностью земель для целей биологической рекультивации основывается на установлении степени связи растительности и среды. Ординация сообществ и видов по градиенту эдафического фактора проведена методом факторного анализа на основе флористических списков с учетом отсутствия (присутствия) видов (анализ 0;1) или их обилия и встречаемости.

Граф сходства на основе корреляционной матрицы флористического состава сообществ (табл. 33) с учетом обилия видов, его идентификация с результатами факторного анализа по группировке сообществ по главным компонентам (метод главных компонент) и общим факторам (α -метод Кайзера) позволили выделить устойчивые группы сообществ (рис. 20; табл. 34—36). Верификация ус-

Таблица 32

**Структура наземной массы фитоценозов
Коркинского угольного разреза
по ботаническим группам**

№ участка	Наземная масса, г/м ²	% от общей массы		
		Злаки	Бобовые	Разнотравье
1	140	30	—	70
2	300	53	6	41
3	130	36	6	58
4	250	82	8	10
5	220	68	—	32
6	90	49	—	51
7	70	—	—	100
8	110	29	—	71
9	140	18	3	79
10	190	50	—	50
11	180	33	—	67
12	110	23	—	77
13	100	33	—	67
14	100	10	—	90
15	210	49	—	51
16	160	5	—	95
17	330	—	—	100
18	250	—	—	100
19	230	55,5	—	44,5
20	380	85,2	—	14,8
21	180	55,4	0,4	44,2
22	150	68,5	2	29,5
23	210	3,5	—	96,5
24	190	88,3	—	11,7
25	160	81,8	4,9	13,3
26	100	45,8	4,6	49,6
27	150	70,7	19	10,3
28	100	4,6	—	95,4
29	290	63,3	—	36,7
30	550	—	—	100
31	140	78,5	4,1	17,4
32	310	64,5	6,1	29,4
33	290	79	3,3	17,7
34	300	6	—	94
35	200	54,2	14	31,8
36	210	49,5	—	50,5
37	320	59,7	12	28,3

тойчивости этих групп проверялась и другими методами (рис. 21—25).

Первая, наиболее многочисленная группа сообществ выделялась по первому фактору методом главных компонент. Центральным в этой группе является сообщество 10 (табл. 34). Оно расположено на глубине 150 м на южном борту разреза (северная

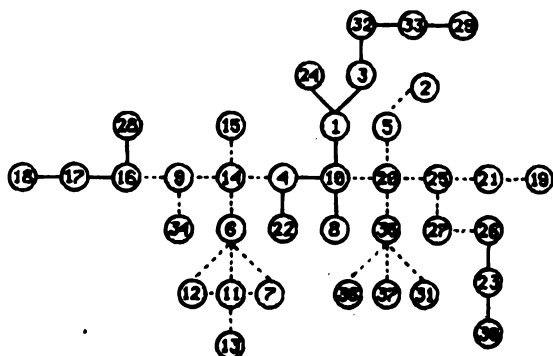


Рис. 20. Граф сходства между сообществами Коркинского угольного разреза по матрице корреляций с учетом обилия видов.
 Цифрами обозначены номера фитоценозов (участков), охарактеризованных в табл. 30—32 (здесь и далее на рис. 21, 22, 24, 25)

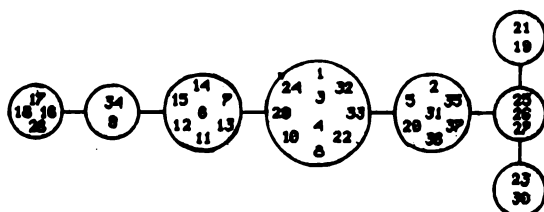


Рис. 21. Блочный граф сходства между сообществами Коркинского угольного разреза на основе факторного анализа с учетом обилия видов

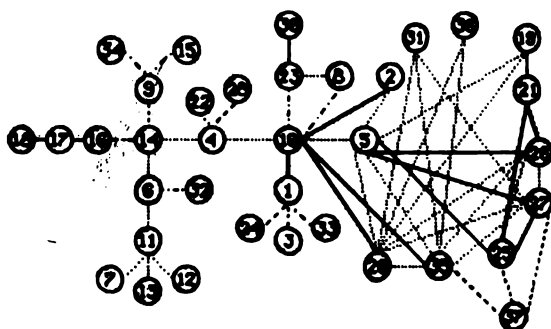


Рис. 22. Циклический граф сходства сообществ Коркинского угольного разреза по матрице корреляций с учетом обилия видов

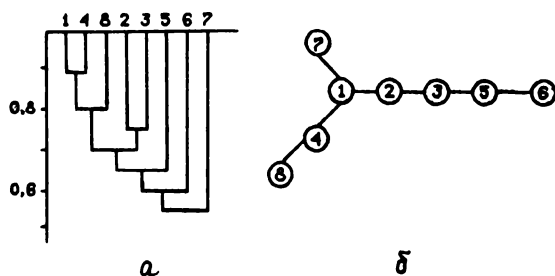
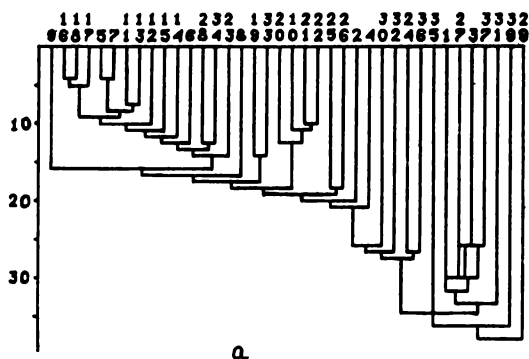
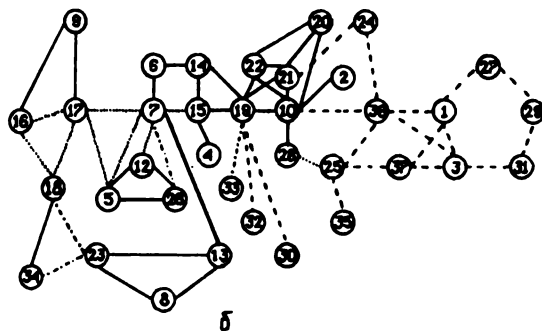


Рис. 23. Дендрограмма (а) и граф сходства (б) между группами сообществ разреза в α -методе Кайзера факторного анализа.

Цифрами обозначены общие факторы. Сообщества, выделившиеся по этим факторам, охарактеризованы в табл. 35



а



б

Рис. 24. Дендрограмма (а) и граф сходства (б) сообществ Коркинского угольного разреза по отсутствию (присутствию) видов в метрике расстояния

Коэффициенты корреляции ($p \cdot 10^{-2}$)
Коркинского

№ фито- цено- за	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		36	48	40	24	28	22	30	4	36	21	2	25	21	24	5	23	13
2	53		47	59	44	51	42	35	30	64	44	37	44	43	59	31	34	44
3	50	29		44	20	26	18	26	10	29	30	18	25	19	30	9	13	26
4	53	54	48		49	51	52	31	35	56	58	42	49	55	59	31	27	44
5	45	76	23	55		58	71	15	28	53	58	52	44	60	58	45	50	45
6	32	34	30	55	43		61	15	31	63	64	45	58	69	34	32	36	43
7	26	38	14	54	47	57		18	33	50	68	62	60	63	66	43	57	44
8	48	54	31	52	56	50	50		15	22	18	9	24	18	21	12	13	19
9	11	15	21	33	17	40	29	41		43	40	26	50	50	47	36	23	45
10	59	67	41	60	80	50	44	70	27		52	40	57	59	63	26	29	41
11	29	45	31	55	46	61	59	53	47	51		62	71	61	64	30	36	46
12	7	24	17	48	42	51	56	37	22	41	70		48	53	50	43	40	44
13	27	29	27	52	39	58	56	57	53	48	71	44		55	63	32	38	41
14	29	35	23	60	40	70	55	47	59	40	55	54	56		69	45	34	53
15	7	15	24	36	15	35	39	33	46	29	44	41	30	33		47	50	43
16	3	4	3	24	21	43	32	27	52	17	37	31	32	55	14		43	55
17	4	13	0	14	29	41	32	25	38	23	32	36	19	40	10	76		51
18	2	7	2	11	21	37	22	22	42	17	30	31	15	38	12	78	97	
19	40	65	25	56	72	34	35	49	29	62	40	33	46	39	14	2	16	7
20	41	69	26	46	91	35	33	57	10	82	37	34	34	25	14	7	16	9
21	39	62	21	47	72	29	28	51	23	63	33	27	39	31	11	1	14	6
22	38	36	29	60	51	50	52	58	50	54	46	39	57	55	30	33	24	21
23	16	23	10	32	38	33	32	43	41	47	30	21	42	46	9	40	29	29
24	52	28	27	36	24	31	29	34	15	45	24	14	28	18	17	2	3	3
25	40	59	22	35	82	21	24	51	2	69	25	25	25	14	9	1	8	2
26	37	58	18	35	83	23	26	52	7	73	28	25	28	19	10	5	12	6
27	43	59	26	38	83	18	22	53	0	71	24	23	24	13	8	0	8	1
28	7	7	0	16	15	22	22	22	24	14	19	22	20	30	13	30	24	24
29	20	3	0	22	1	25	3	3	21	13	44	0	30	21	12	3	3	2
30	4	2	6	3	8	1	2	0	5	14	2	1	1	0	3	5	6	7
31	29	47	15	27	61	15	14	32	3	54	16	14	18	9	3	2	6	0
32	43	14	43	49	25	52	28	41	26	41	26	26	28	48	29	23	13	10
33	38	16	29	21	19	24	21	27	18	23	19	10	23	20	12	11	8	7
34	0	2	2	5	7	5	6	23	40	12	7	7	6	24	6	7	4	13
35	40	66	23	43	89	24	29	51	2	78	29	29	29	19	11	1	10	2
36	35	50	19	31	60	18	18	44	6	60	22	19	26	16	14	0	7	0
37	38	25	24	16	33	5	7	18	2	28	7	6	10	3	0	0	2	0

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициенты по отсутствию (присутствию) видов, в нижней —

экспозиция). Субстрат не засолен, реакция среды слабокислая и близкая к нейтральной, обеспеченность элементами питания для растений от низкой до средней. Местонахождение участка свидетельствует о том, что возраст фитоценоза свыше 20 лет (такой период времени эта часть разреза не подвергалась техногенному воз-

флористического состава фитоценозов
угольного разреза

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
36	32	37	22	14	43	43	36	46	21	0	18	45	37	35	11	33	32	32
52	50	53	46	37	28	37	43	34	10	0	32	22	35	42	27	32	14	13
25	32	26	15	8	24	41	30	41	0	0	4	36	32	31	5	32	28	34
56	43	49	46	45	36	49	51	52	12	4	28	36	46	53	40	32	10	16
58	46	46	49	51	19	46	58	36	19	2	24	20	39	43	52	27	7	4
59	55	52	48	44	32	39	54	30	13	6	30	28	46	50	41	21	9	1
55	39	38	41	54	22	43	50	24	18	6	17	13	36	51	49	30	6	3
39	18	21	20	20	9	17	21	25	7	4	11	5	29	36	14	26	13	9
43	32	36	48	46	14	19	42	21	16	1	35	6	16	39	34	13	5	0
69	70	73	63	57	44	53	59	39	14	1	49	38	45	58	52	41	20	10
48	45	41	49	42	22	37	54	26	15	1	17	21	33	43	48	23	8	5
30	25	18	31	38	2	22	34	14	15	2	6	4	23	31	49	16	6	1
52	41	50	58	61	25	41	47	26	16	1	30	25	38	47	46	27	14	7
68	51	52	61	63	21	36	56	26	18	2	41	21	45	62	52	29	10	3
63	51	60	54	57	28	39	50	34	17	8	30	28	38	62	46	25	13	5
33	22	10	26	39	3	15	24	7	16	3	8	7	24	37	43	2	6	3
36	25	27	30	35	16	20	28	18	14	6	5	17	20	33	39	9	8	5
46	41	33	41	42	13	29	43	18	20	5	29	17	30	43	53	10	11	8
	55	65	66	53	40	49	55	43	16	3	49	26	56	70	44	34	16	13
70		67	65	45	28	49	43	33	10	2	41	28	48	56	36	24	34	25
91	67		75	50	49	46	52	39	11	2	46	31	44	59	32	45	20	8
52	46	48		50	34	46	44	29	16	0	46	17	43	56	40	28	15	7
36	32	41	40		18	42	53	24	21	1	38	23	36	48	54	27	9	4
28	27	24	35	12		43	41	35	2	3	22	22	15	23	11	22	18	6
59	83	75	36	20	28		62	44	13	5	29	39	40	40	21	31	16	16
58	81	74	36	47	26	90		41	21	1	30	32	37	41	36	33	15	8
61	86	73	36	21	28	96	88		0	14	28	37	39	40	10	33	12	13
12	10	8	24	19	2	6	8	5		1	5	14	6	11	22	16	0	3
4	1	4	8	4	16	2	1	1	0		6	4	2	5	5	5	2	2
1	2	13	0	67	4	3	35	2	0	1		15	40	43	26	15	7	2
45	67	43	23	15	17	58	56	61	3	3	3		38	27	9	24	27	30
10	21	10	40	36	22	15	19	20	10	25	20	11		44	24	33	23	27
15	19	13	25	15	13	11	12	13	6	17	1	9	34		43	34	32	26
10	10	8	10	30	3	3	6	2	11	3	7	0	23	10		15	4	3
64	95	63	38	25	28	85	83	87	10	2	2	67	17	16	7		6	12
53	67	53	36	21	28	60	57	62	4	4	3	46	15	11	0	64		87
23	36	24	15	6	9	35	32	37	0	2	3	25	9	22	1	38	24	

с учетом их обилия.

действию). О значительном временном периоде формирования сообщества на этом участке свидетельствует неравномерность растительного покрова, его четкая дифференциация в зависимости от свойств субстрата. Без растительности оказались лишь сильнозасоленные пятна (плотный остаток 1,5—2,9%). Фитоценоз харак-

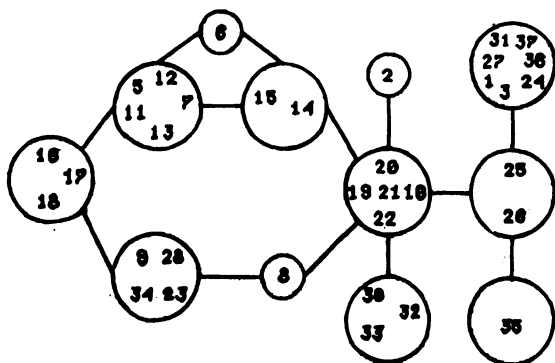


Рис. 25. Блочный граф сходства между сообществами Коркинского угольного разреза по отсутствию (присутствию) видов в метрике расстояния

теризуется относительно богатым видовым составом (40 видов), надземная масса 19 ц/га. Преобладающим по массе видом является вейник наземный (обилие сор₂). Злаки составляют 50% общей надземной массы, из них с обилием *sp* представлены критезион гривастый, метлица обыкновенная, овсяница луговая, пырей ползучий, *sol—sol gr* — мятлик луговой и тростник обыкновенный.

Группа объединяет 12 сообществ, расположенных в разрезе на глубине от дневной поверхности до 170 м. Для всех сообществ группы характерен относительно богатый видовой состав (39—51 вид). Исключение составляют 5, 25, 26 и 36-е сообщества, в которых отмечено от 18 до 35 видов. Во всех сообществах доминирует вейник наземный. Это обстоятельство и явилось главной причиной выделения этой группы. В большинстве сообществ (исключая 26-е) по массе преобладают злаки, доля которых колеблется от 50 до 85%, хотя их видовое разнообразие может быть незначительным.

В целом в группу объединены старые фитоценозы на «благоприятном» субстрате (так условно назван незасоленный субстрат с благоприятной реакцией среды слабокислой, нейтральной, слабощелочной). Через 20-е сообщество к этой группе присоединяются фитоценозы 5-й и 2-й, сформировавшиеся на засоленном субстрате, очень старые, старше 30 лет. Объединяет их с охарактеризованной группой доминирование вейника и преобладание по массе злаков, хотя видовой состав беднее. В сообществе 5 описано лишь 18 видов. Интересна подгруппа сообществ 31, 35, 36, 37. Это сообщества внутреннего отвала «Борода» возрастом свыше 30 лет. По флористическому составу они наиболее близки к естественному фитоценозу земной поверхности (31-й), который расположен в непосредственной близости. В связи с этим интересно отметить, что к этой группе примыкает сообщество 8, которое сформировалось на участке с благоприятными свойствами субстрата к 12—15 годам.

Устойчивая II группа сообществ, также связанная с 10-м фитоценозом (см. рис. 20), выделяется по второму общему фактору и четвертой и пятой главным компонентам. Центральным в этой группе является сообщество 1, расположенное на дневной поверхности южного борта. Слабо скоррелированы с ним сообщества дневной поверхности северного (29-е) и юго-западного (4-е) бортов на почве. Это в разной степени деградированные разнотравно-злаково-пырейные фитоценозы. В эту группу включается 33-е очень старое (свыше 30 лет) сообщество, сформировавшееся на восточном борту на глубине 60—80 м на участке с благоприятным субстратом (единично встречены средnezасоленные пятна субстрата).

Группа сформировалась по видовой общности, так как факторизация проводилась на основе флористического состава сообществ с учетом обилия видов. Для нее характерен богатый видовой состав (40—54 вида), отсутствие ясно выраженного доминанта. По массе преобладают злаки, составляя от 63 до 82%; 3,3—6,0% составляет масса бобовых. Сообществам этой группы свойственна высокая продуктивность, величина воздушно-сухой надземной массы достигает 29—31 ц/га. Группа индицирует, в основном, благоприятные эдафические условия. Наблюдается конвергенция на флористической основе «старых» сообществ на неблагоприятном субстрате (4-е и 32-е) и «молодых» на благоприятном (22-е).

Группа III выделилась по третьему фактору (α -метод Кайзера) и второй главной компоненте (метод главных компонент). Это преимущественно злаково-разнотравные и разнотравные растительные сообщества. Видовой состав беден: 18—20 видов. Лишь в сообществах 14 и 6 описаны 29 и 31 вид. Продуктивность надземной массы 7—11 ц/га с преобладанием разнотравья, доля которого составляет от 51 до 100%. Данная группа сообществ индицирует неблагоприятные эдафические условия, такие как засоление и очень кислая реакция среды. Расположены эти сообщества, как правило, на глубине ниже 150 м. Исключение составляют 4-е и 6-е, расположенные на глубине 30—40 м. На участках, где сформировались сообщества описанной группы, много голых пятен, субстрат которых сильно засолен (плотный остаток до 2%) при очень кислой реакции среды (рН 3,1—3,6). Под растительностью засоление меньше, но плотный остаток отдельных проб может достигать 1,62% при рН не ниже 5, т. е. реакция среды более благоприятная. Сильнокислая реакция среды (рН ниже 5) при сильном засолении исключает поселение растений, сильная засоленность при рН выше 5 резко снижает видовое богатство сообществ. Особого внимания заслуживает сообщество 15, расположенное на глубине 225 м и сформированное на участке с благоприятным субстратом. Это очень молодое, возрастом не более 5 лет, растительное сообщество. С группой его «роднит» видовой состав и доминирование полыни горькой.

Группу IV составили сообщества 16, 17, 18 — пятна высоко-

Таблица 34

Факторные нагрузки фитоценозов Коркинского угольного разреза по главным компонентам (анализ с учетом обилия видов)

№ фитоценоза	Фактор							
	1	2	3	4	5	6	7	8
35	0,93	0*	0	0	0	0	0	0
27	0,92	0	0	0	0	0	0	0
20	0,9	0	0	0	0	0	0	0
25	0,91	0	0	0	0	0	0	0
26	0,88	0	0	0	0	0,34	0	0
5	0,87	0,28	0	0	0	0	0	0
21	0,75	0	0	0	0,37	0	0	0
10	0,72	0,35	0	0,27	0	0	0	0
31	0,72	0	0	0	0	0	0	0
36	0,69	0	0	0	0	0	0	0
19	0,68	0	0	0	0,45	0	0	0
2	0,67	0	0	0	0,35	0	0	0
12	0	0,78	0	0	0	0	0	0
11	0	0,78	0	0	0	0	0	0
7	0	0,71	0	0	0	0	0	0
15	0	0,68	0	0	0	0	0	0
6	0	0,65	0,32	0	0	0	0	0
13	0	0,63	0	0	0,31	0	0	0,27
14	0	0,61	0,36	0	0,25	0	0,26	0
4	0,31	0,58	0	0,26	0,42	0	0	0
18	0	0	0,94	0	0	0	0	0
17	0	0	0,93	0	0	0	0	0
16	0	0	0,85	0	0	0	0	0
32	0	0,38	0	0,63	0	0,35	0	0
3	0	0,25	0	0,63	0,29	0	0	0
33	0	0	0	0,62	0	0	0	0
1	0,35	0	0	0,58	0,55	0	0	0
24	0	0	0	0	0,59	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0,94	0	0
23	0	0	0,25	0	0	0,78	0,30	0
34	0	0	0	0	0	0	0,82	0
9	0	0,40	0,33	0	0	0	0,64	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0,93
28	0	0	0,29	0	0	0	0,26	0
22	0,31	0,47	0	0	0,41	0	0,25	0
8	0,46	0,43	0	0,26	0,26	0	0,27	0
37	0,39	0	0	0,46	0	0	0	0

* Факторная нагрузка <0,25.

продуктивных зарослей кохии веничной местами высотой более 1 м. Участки расположены на глубине 237—323 м, самые глубокие пятна растительности в разрезе. Заросли кохии сформированы на 1—3-летних участках. Субстрат засолен (плотный остаток — 1,18—1,41%), pH 6,7—7,7. На более кислом субстрате при таком уровне

Таблица 35

Факторные нагрузки фитоценозов Коркинского угольного разреза по общим факторам (анализ с учетом обилия видов)

№ фитоценоза	Фактор							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20	1,01	0*	0	0	0	0	0	0
35	0,93	0	0	0	0	0	0	0
31	0,73	0	0	0	0	0	0	0
5	0,67	0	0	0	0	0	0	0
10	0,52	0,41	0	0	0	0	0	0
36	0,52	0	0	0	0	0	0	0
2	0,50	0	0	0	0	0	0,31	0
1	0	1,03	0,28	0	0	0	0	0
32	0	0,92	0	0	0	0	0,34	0
3	0	0,75	0	0	0	0	0	0
24	0	0,62	0	0	0	0	0	0
4	0	0,55	0,35	0	0	0	0	0
12	0	0	1,03	0	0	0	0	0
11	0	0	0,90	0	0	0	0	0
7	0	0	0,85	0	0	0	0	0
13	0	0	0,56	0	0,43	0	0	0
6	0	0,38	0,55	0	0	0	0	0
25	0	0	0	1,03	0	0	0	0
27	0	0	0	0,87	0	0	0	0
26	0	0	0	0,84	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0,88	0	0	0
34	0,49	0,26	0,32	0	0,77	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0,99	0	0
18	0	0	0	0	0	0,97	0	0
16	0	0	0	0	0,35	0,59	0,30	0
19	0,32	0	0	0,39	0	0	0,99	0
21	0,28	0	0	0,33	0	0	0,94	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0,96
23	0	0	0	0	0,43	0	0	0,61
28	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0,45	0	0,30	0	0	0
8	0	0,30	0	0,35	0,40	0	0	0
33	0	0,48	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0,36	0	0	0
15	0	0	0,49	0	0	0	0	0
29	0,32	0,41	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0

* Факторная нагрузка по абсолютной величине $< 0,25$.

засоления растительность отсутствует, как и при сочетании кислого субстрата и очень сильного засоления, когда плотный остаток отдельных проб достигал 3,84%. К этой группе примыкает расположенный на глубине 112 м также «молодой» 3—5-летний фитоценоз 28, сформировавшийся на слабозасоленном субстрате с бла-

Таблица 36

**Корреляционная матрица связи общих факторов
при анализе флористического состава сообществ
Коркинского угольного разреза**

Общий фактор	1	2	3	4	5	6	7	8
1	<u>0,92</u>	0,85	0,73	0,78	0,70	0,69	0,22	0,57
2	<u>0,98</u>	<u>0,91</u>	0,64	0,72	0,60	0,70	0,18	0,54
3	0,52	0,68	<u>0,89</u>	0,81	0,75	0,53	0,06	0,46
4	0,86	0,57	<u>0,92</u>	<u>0,89</u>	0,74	0,56	0,07	0,47
5	0,17	0,46	0,63	<u>0,98</u>	<u>0,84</u>	0,40	0,07	0,34
6	0,15	0,17	0,41	0,08	<u>0,89</u>	<u>0,81</u>	0,26	0,63
7	0,74	0,57	0,50	0,71	0,28	<u>0,98</u>	<u>0,86</u>	0,34
8	0,13	0,13	0,10	0,25	0,28	0,12	<u>0,97</u>	<u>0,77</u>

Примечания: 1. В верхней части матрицы анализ по отсутствию (присутствию) видов, в нижней — с учетом их обилия. 2. По диагонали приведен показатель общности в группе сообществ, выделенных по фактору (числитель — анализ 0:1, знаменатель — с учетом обилия видов).

гоприятной реакцией среды. Он отличается более богатым видовым составом (23 вида вместо 7—13), по массе преобладает разнотравье, составляющее 95%.

У остальных 9 сообществ связь с выделенными группами слабая, они занимают промежуточное положение (см. табл. 34, 35).

Как уже отмечалось ранее, α -метод Кайзера дает количественную оценку связи общих факторов (см. табл. 36). Устойчивые группы сообществ являются своего рода обобщенной и усредненной факторной моделью всего набора характерных (типичных) сообществ разреза. Идентификация этих групп с общими факторами позволяет дать количественную оценку корреляционной связи как сообществ внутри групп, так и групп между собой (табл. 37).

Выделенные по флористическому составу с учетом обилия видов устойчивые группы являются экологическими, так как связаны с определенным по свойствам субстратом: I — сообщества на благоприятном субстрате; II — сообщества на субстрате с благоприятной реакцией среды незасоленном или слабо- и средnezасоленном; III — сообщества на средне- и сильнозасоленном субстрате при реакции среды не ниже 5; IV — «молодые» сообщества.

При RQ-анализе по флористическому составу группу сообществ, которые выделяются по какому-либо фактору с весомой факторной нагрузкой (обычно выше 0,5), «организуют» один или несколько

видов, имеющих высокий класс постоянства и высокий балл обилия в этих сообществах, и виды, положительно скоррелированные с ними.

Таблица 37

**Корреляционная матрица связи
экологических групп сообществ
Коркинского угольного разреза**

Группа сообществ	I	II	III	IV
I	0,97	0,57—0,67	0,37—0,52	0,08—0,15
II	—	0,91	0,68	0,17
III	—	—	0,92	0,41
IV	—	—	—	0,98

Группу I составляют монодоминантные разнотравно-вейниковые сообщества, эту группу организует вейник наземный, высокий класс постоянства в ней с разным баллом обилия имеют мятлик луговой и критезион гривастый. При факторизации сообществ α -методом Кайзера I группа сообществ выделилась по первому, четвертому и седьмому общим факторам, произошло более тонкое дифференцирование. Первый фактор выделил разнотравно-вейниковые, четвертый — разнотравно-мятlikово-вейниковые, седьмой — разнотравно-критезоно-вейниковые сообщества. Виды, имеющие положительные факторные нагрузки выше 0,5, показаны в табл. 38.

Группу II сообществ также организует вейник наземный, имеющий в сообществах этой группы высокий класс постоянства (X) с разным баллом обилия (от sol gr до сор₂). Видовой состав сообществ этой группы определен нечетко, 32 вида имеют весомые факторные нагрузки.

В сообществах III группы весомые факторные нагрузки имеет 21 вид. Засоление субстрата способствует тому, что в сообществах, сформировавшихся в этих условиях, спорадически присутствуют многие виды, но с малым баллом обилия. Весомые факторные нагрузки имеет группа видов галофитного типа, таких как астра солончаковая, бескильница расставленная и др. Большинство из оставшихся видов с весомыми факторными нагрузками по шкале Раменского отнесены к видам, выносящим засоление и приуроченным к солончаковым местообитаниям в градации от слабо- до сильносолончаковых (Раменский и др., 1956). В условиях разреза за счет снижения фитоценотической нагрузки без конкуренции повышается приспособительная реакция организмов по принципу преадаптации.

Группа IV сообществ характеризуется доминированием кохии веничной. С ней положительно скоррелированы 7 видов. Набор

Таблица 38

Факторные нагрузки видов по группам сообществ
Коркинского угольного разреза

Вид	Группа сообществ							
	IV	III	IV-III	0	I ₃	I ₁	I ₂	II
<i>Kochia scoparia</i>	9,9	3,3	4,4	1,0	-	0,5	-	0,7
<i>Calamagrostis epigeios</i>	0,8	3,8	-	0,9	7,3	9,9	9,3	5,5
<i>Hordeum brachyantherum</i>	0,6	3,0	3,2	0,2	7,1	0,9	0,1	2,0
<i>Tussilago farfara</i>	0,2	2,5	3,3	0,3	-	0,9	0,5	2,1
<i>Salsola collina</i>	0,3	-	3,2	1,0	0,1	0,2	-	-
<i>Polygonum aviculare</i>	-	2,6	1,3	0,1	-	-	-	0,8
<i>Artemisia absinthium</i>	-	2,5	2,3	-	-	0,2	0,2	1,4
<i>Aster amelloides</i>	-	2,4	1,3	-	-	0,1	-	0,4
<i>Lactuca tatarica</i>	0,7	1,4	2,5	0,7	0,2	0,4	0,3	1,4
<i>Lactuca serriola</i>	0,2	0,1	2,1	0,6	-	-	-	0,4
<i>Phragmites australis</i>	-	2,1	0,1	-	-	0,7	0,2	1,0
<i>Taraxacum officinale</i>	0,7	1,7	2,1	0,1	-	0,6	0,4	1,9
<i>Picris hieracioides</i>	-	1,0	1,9	0,8	-	-	0,1	0,5
<i>Puccinellia distans</i>	0,9	1,7	0,4	-	-	-	-	0,8
<i>Solanum dulcamara</i>	0,4	1,8	0,4	-	0,4	0,3	-	0,9
<i>Elytrigia repens</i>	-	1,2	1,6	-	0,5	-	-	1,9
<i>Atriplex nitens</i>	-	1,2	-	-	-	0,4	-	0,4
<i>Cirsium arvense</i>	-	1,5	-	-	0,3	0,8	0,2	2,4
<i>Sisymbrium loeselii</i>	-	0,3	1,9	0,8	-	-	-	1,8
<i>Carduus uncinatus</i>	-	1,1	0,5	-	-	-	-	1,1
<i>Festuca pratensis</i>	-	-	1,2	9,9	0,6	0,1	1,6	0,1
<i>Sonchus arvensis</i>	-	0,4	1,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9
<i>Atriplex patula</i>	-	1,2	-	-	-	-	-	-
<i>Senecio vulgaris</i>	-	0,3	1,1	-	-	-	-	0,2
<i>Puccinellia hauptiana</i>	-	0,3	0,8	-	-	-	-	-
<i>Saussurea amara</i>	-	0,7	0,3	-	0,1	0,5	0,2	1,6
<i>Melilotus albus</i>	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2	0,1
<i>Salsola australis</i>	0,8	0,2	-	-	-	-	-	-
<i>Hieracium umbellatum</i>	-	0,8	-	-	-	-	-	0,2
<i>Berteroa incana</i>	0,3	-	-	-	-	-	-	1,2
<i>Tragopogon dubius</i>	-	0,1	0,2	-	-	-	-	-
<i>Artemisia vulgaris</i>	-	-	0,2	0,3	-	0,1	-	1,6
<i>Rumex confertus</i>	-	0,1	0,3	-	0,2	0,2	0,1	0,7
<i>Chamaerion angustifolium</i>	-	-	0,3	-	-	0,1	-	0,1
<i>Amaranthus retroflexus</i>	-	-	0,1	-	-	-	-	-
<i>Silene dichotoma</i>	-	-	-	0,2	-	0,2	-	-

Вид	Группа сообществ							
	IV	III	IV-III	0	I ₃	I ₁	I ₂	II
<i>Erigeron canadensis</i>	-	-	0,8	-	0,1	-	-	0,4
<i>Odontites vulgaris</i>	-	-	-	-	-	0,1	0,5	0,5
<i>Astragalus sulcatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,6
<i>Convolvulus arvensis</i>	-	-	-	-	-	0,3	-	0,9
<i>Vicia cracca</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,9
<i>Trifolium pratense</i>	-	-	-	-	-	-	0,1	0,5
<i>T. repens</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,5
<i>Medicago lupulina</i>	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5
<i>Linaria vulgaris</i>	-	-	-	-	-	0,3	0,2	1,9
<i>Medicago falcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,1
<i>Apera spica-venti</i>	-	-	-	-	-	0,1	-	0,5
<i>Pastinaca sylvestris</i>	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,4

П р и м е ч а н и я: 0 - сообщества на почве, расположенные около разреза; I₁, I₂, I₃ - сообщества на благоприятном субстрате; II - сообщества на слабо- и средnezасоленном субстрате; III - сообщества на сильнозасоленном субстрате; IV - "молодые" сообщества.

их показывает случайность связи, что указывает на ранние фазы формирования сообществ.

Представляет интерес биоэкологическая структура флоры сообществ, выделенных факторным анализом на основе флористического состава и группы естественных сообществ на дневной поверхности, расположенных рядом с разрезом. Последние испытывают сильное антропогенное (техногенное) воздействие и разную степень деградации.

Флора разреза представлена 119 видами (табл. 39), преобладают многолетники (59,7%) мезоксерофитного (19,3%), ксеромезофитного (28,6%) и мезофитного (42%) типа. Фитоценотический анализ показывает преобладание сорных (рудеральных) видов (42%) при значительной доле луговых (24,4%), лугово-степных (9,2%) и степных (11%) видов.

Биоэкологическая структура флоры по группам сообществ более информативна, чем в целом по разрезу (рис. 26). Группа IV объединила «молодые» инициальные сообщества разреза, сформировавшиеся за 3—5 лет на глубине 237—323 м, группы I—III связаны со свойствами субстрата. В частности, сообщества III группы приурочены к засоленному субстрату. Нулевая группа включает естественные сообщества, расположенные рядом с разрезом.

**Биоэкологическая структура флоры Коркинского угольного разреза
по группам сообществ,
выделенным факторным анализом**

Группы видов	Группа сообществ											
	0		I		III		II		IV		Общее по разрезу	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Продолжительность жизни												
Однолетники	16	18,8	16	17,4	15	19,5	10	20,8	7	25,0	25	21,0
Одно-двулетники	9	10,6	10	10,9	10	13,0	6	12,5	4	14,3	12	10,1
Дву-многолетники	9	10,6	7	7,6	7	9,1	2	4,2	2	7,1	11	9,2
Многолетники	51	60,0	59	64,1	45	58,4	30	62,5	15	53,6	71	59,7
Жизненная форма по Раункьеру												
Терофиты	18	21,2	20	21,7	18	23,4	12	25,0	8	28,6	29	24,4
Гемикриптофиты	46	54,1	45	48,9	39	50,6	19	39,6	11	39,2	59	49,6
Геофиты	18	21,2	24	26,1	18	23,4	16	33,3	8	28,6	26	21,8
Хамефиты	2	2,4	3	3,3	2	2,6	1	2,1	1	3,6	3	2,5
Фанерофиты	1	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1,7
Экоморфа (гидроморфа)												
Гигрофиты	2	2,4	4	4,3	1	1,3	1	2,1	—	—	5	4,2
Мезогигрофиты	2	2,4	1	1,1	1	1,3	1	2,1	—	—	2	1,7
Мезофиты	34	40,0	43	46,7	34	44,2	19	39,6	12	42,9	50	42,0
Ксеромезофиты	27	31,7	25	27,2	25	32,4	15	31,2	9	32,1	34	28,6
Мезоксерофиты	17	20,0	17	18,5	15	19,5	9	18,7	5	17,9	23	19,3
Ксерофиты	3	3,5	2	2,2	1	1,3	3	6,3	2	7,1	5	4,2
Способ распространения семян												
Автохор, барохор	21	24,6	23	25,0	15	19,5	10	20,8	6	21,4	31	26,0
Баллист	12	14,1	15	16,3	13	16,9	5	10,4	2	7,1	17	14,3
Зоохор	18	21,2	15	16,3	13	16,9	11	22,9	5	17,9	20	16,8
Гемнанемохор	19	22,4	21	22,8	20	25,9	13	27,1	8	28,6	27	22,7
Анемохор	13	15,3	18	19,6	14	18,2	9	18,8	7	25,0	22	18,5
Прочие	2	2,4	—	—	2	2,6	—	—	—	—	2	1,7
Ландшафтно-зональная принадлежность												
Влажные луга, болота	2	2,4	5	5,4	3	3,9	2	4,2	—	—	6	5,0
Солончаковые луга, солончаки	3	3,5	7	7,6	5	6,5	5	10,4	3	10,7	7	5,9
Сорные	37	43,5	39	42,4	37	48,0	26	54,1	18	64,3	50	42,0
Лесные	3	3,5	2	2,2	1	1,3	1	2,1	—	—	3	2,5
Луговые	23	27,1	22	23,9	18	23,4	7	14,6	4	14,3	29	24,4

Сопоставление схемы взаиморасположения групп в зависимости от возраста (рис. 27) и структуры флоры по группам дает возможность заключить, что видовое богатство при ухудшении свойств субстрата издает особенно резко (почти вдвое) на засоленном субстрате, на так называемых техногенных солончаках (Шилова,

1974). Наиболее близка к группе естественных сообществ структура флоры I и II групп.

В целом прослеживаются общие закономерности на фоне обедненного видового состава сообществ. По мере повышения сформированности сообществ доля однолетников снижается и возрастает

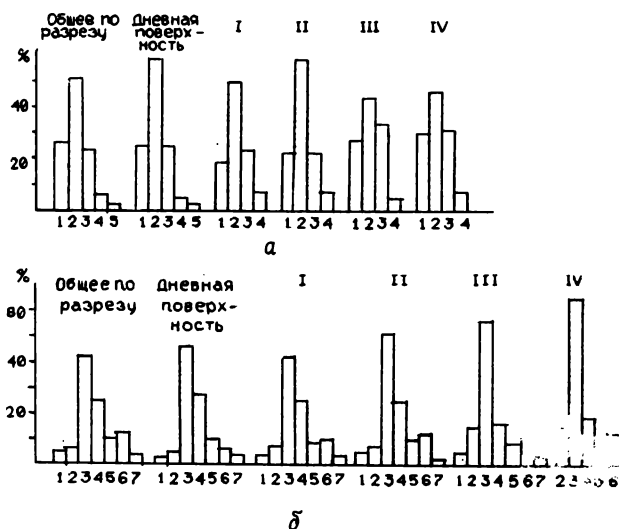


Рис. 26. Структура флоры Коркинского угольного разреза по группам сообществ, выделенным при факторном анализе:

а — по жизненным формам Раункиера: 1 — терофиты; 2 — гемикриптофиты; 3 — геофиты; 4 — хамефиты; 5 — фанерофиты; *б* — по ландшафтно-зональной принадлежности видов: I — влажные луга, болота и др.; 2 — солончаковые луга; 3 — сорно-рудеральные; 4 — лесные; 5 — луговые; 6 — лугово-степные; 7 — степные; I — на благоприятном субстрате; II — на слабо- и среднезасоленном; III — на сильнозасоленном; IV — «молодые» сообщества

доля многолетников, стабильно усиливается участие гемикриптофитов за счет терофитов и геофитов, снижается доля рудеральных при увеличении доли луговых и лугово-степных видов. Во всех группах сообществ разреза относительно велика доля галомезофитов (до 10,7%), значительно выше, чем для близлежащих естественных фитоценозов. Биоэкологическая структура флоры групп сообществ достаточно информативна при анализе степени их сформированности.

Как отмечено выше, группы сообществ, которые выделяются по какому-либо фактору с весомой нагрузкой (обычно выше 0,5), организуют один или несколько видов, имеющих высокий класс постоянства и высокий балл обилия, и виды тесно положительно скоррелированы с ними. Факторную нагрузку от 0,5 до 1,5 имеют виды с высоким классом постоянства (VIII—X), но малым обилием,

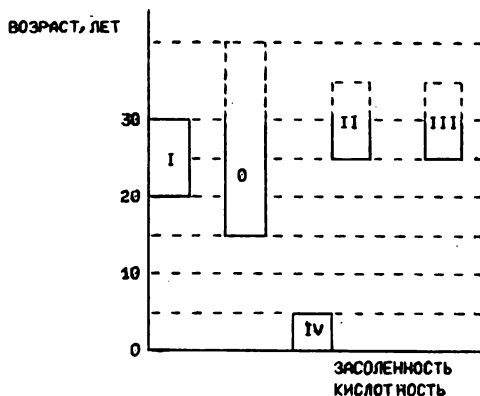


Рис. 27. Схема взаиморасположения групп сообществ Коркинского угольного разреза в зависимости от возраста и свойств субстрата:

0 — на дневной поверхности; I — на благоприятном субстрате, II — на слабо- и средnezасоленном; III — на сильнозасоленном, IV — «молодые» сообщества

иногда единично (sol). Виды с факторными нагрузками свыше 1,5 обычно имеют в одном или нескольких сообществах группы более высокий балл обилия. Чем он выше, тем больше величина факторной нагрузки (см. табл. 38, 40). Факторная нагрузка вида определяется его значимостью именно в группе сообществ, выделенных по этому фактору. Факторный анализ сообществ по флористическому составу с учетом обилия видов позволил выделить устойчивые группы, которые достаточно легко биологически интерпретируются. При этом промежуточные, переходные сообщества, составляющие одну треть, при факторизации редуцированы. Следовательно, каждая группа сообществ может рассматриваться как тип определенного возрастного состояния или комплекса эдафических условий. Анализ факторных нагрузок видов (см. табл. 38) по этим группам сообществ дает соотношение видов типичного гипотетического фитоценоза (рис. 28, группы I₁, II₁, III, IV), в то же время на основе сопряженности видов выделяются еще дополнительные варианты их соотношения (группы I_{2,3}, II₂, IV).

В результате углубленного анализа фактического материала с применением машинного эксперимента разработана схема формирования растительности Коркинского угольного разреза в зависимости от возраста участков и свойств субстрата (см. рис. 28), которая иллюстрирует скорость формирования фитоценозов и дает возможность прогнозировать их видовой состав (см. табл. 38). По мере улучшения эдафических условий формирование растительных сообществ (процесс самозаращания) ускоряется, а разнообразие формирующихся фитоценозов возрастает.

Таблица 40

Дифференциация видов по обилию и постоянству в фитоценозах
Коркинского угольного разреза

Вид	N фитоценоза																			
	1111111111222222222233333333																			
	1234567890123456789012345678901234567																			
Aster amelloides	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Puccinellia distans	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Calamagrostis epigeios	o	c	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Polygonum aviculare	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Picris hieracioides	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Kochia scoparia	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hordeum brachyantherum	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lactuca tatarica	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
L. serriola	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Atriplex nitens	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense	c	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tussilago farfara	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Taraxacum officinale	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Solanum dulcamara	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Artemisia absinthium	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Phragmites australis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Rumex confertus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Carduus uncinatus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Convolvulus arvensis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Sisymbrium loeselii	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Melilotus albus	c	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chamaerion angustifolium	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Berteroa incana	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Senecio vulgaris	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Linaria vulgaris	c	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Erigeron canadensis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Poa pratensis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Sonchus arvensis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pastinaca sylvestris	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Artemisia vulgaris	c	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Elytrigia repens	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Salsola collina	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Astragalus sulcatus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Odontites vulgaris	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Trifolium pratense	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Вид	N фитоценоза																		
	1111111111222222222233333333																		
	1234567890123456789012345678901234567																		
T. repens	o	o													o+	o	++	+	o
Potentilla argentea	oo														++	+	o+		+
Medicago falcata	++oo														+	+	+	+	+
M.lupulina	+	o+													+	o	o	++oo+	+
Apera spica-venti	+	o			o	o									++	o		+++	++o
Puccinellia hauptiana	o			+	+	o									+				
Vicia cracca	ooo			o	+											o		oo	++o
Tragopogon dubius	+			o											+				
Atriplex patula			+			oo	+								+	+		o	
Lappula squarrosa	+				o	+									++++	+		+	++
Euphorbia waldsteinii	+						+								+++		+		+
Festuca pratensis			+		o										+	+	+	o	c o
Salsola australis				+				o	+									+	
Silene dichotoma						o									+	+	+	++o	++++
Achillea millefolium			+			+										oo+	+	+	+
A. nobilis	o++o	o													+			oo	+++
Setaria viridis,	+														+	+++		+	+
Hieracium umbellatum	o++			ooo					+	o					+				+

П р и м е ч а н и я: s - sol; + - sp; o - сор₁; c - сор₂₋₃.
Номера фитоценозов (верхняя строка - десятки,
нижняя - единицы) даны согласно табл. 31.

Важным моментом при анализе видового состава сообществ является оценка стратегии видов растений и изменение ее в зависимости от группы сообществ. В настоящее время термин «стратегия видов» чаще всего применяется по Т. А. Работнову (1975), который определил стратегию вида как «совокупность приспособлений, обеспечивающих ему возможность обитать совместно с другими организмами и занимать определенное место в соответствующем биогеоценозе». Разными авторами разработаны и предложены системы типов стратегии видов (Раменский, 1935, 1936; Уиттекер, 1980; Пианка, 1981). Дальнейшее развитие проблема стратегии видов и разработки системы стратегий типов находит в работах Т. А. Работнова (1975, 1980, 1981, 1983). Б. М. Миркин (1983, 1985) внес свои уточнения систем типов стратегий и назвал их первичными типами эколого-ценотических стратегий.

Многие авторы подчеркивают, что типы стратегий в чистом виде крайне редко выражены и оценка их на практике затруднительна. Кроме того, есть указания у Т. А. Работнова (1975), Б. М. Миркина

СВОЙСТВА СУБСТРАТА	ВОЗРАСТ УЧАСТКОВ				
	1-5	6-10	11-20	21-30	>30
СИЛЬНОКИСЛЫЕ И ЗАСОЛЕННЫЕ	РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			ОТСУТСТВУЕТ	
КИСЛЫЕ И СЛАБОКИСЛЫЕ, СИЛЬНОЗАСОЛЕННЫЕ	IV		III		
СЛАБО- И СРЕДНЕЗАСОЛЕННЫЕ, СЛАБОКИСЛЫЕ, НЕЙТРАЛЬНЫЕ	IV	III		II	
НЕЗАСОЛЕННЫЕ, СЛАБОКИСЛЫЕ И НЕЙТРАЛЬНЫЕ	IV	III	II ₁ II ₂		
	I ₁ I ₂		I ₃ I ₄		

Рис. 28. Схема формирования растительности Коркинского угольного разреза. Римскими цифрами обозначены группы сообществ, выделившиеся при факторном анализе по флористическому составу:

I — разнотравно-злаково-вейниковые растительные сообщества (*I*₁ — разнотравно-вейниковые, *I*₂ — разнотравно-овсяничево-вейниковые, *I*₃ — разнотравно-мятликово-вейниковые, *I*₄ — разнотравно-критезоно-вейниковые); *II*₁ — разнотравно-злаковые растительные сообщества; *II*₂ — злаково-разнотравные растительные сообщества; *III* — злаково-разнотравные и разнотравные растительные группировки галофитного типа; *IV* — разнотравно-злаково-кошачьи растительные группировки

(1986) и других авторов на смену типа стратегий у одного и того же вида при резком изменении экологических и фитоценологических условий.

В условиях Коркинского разреза мы имеем дело с многообразием экотопов и с разной степенью сформированности фитоценозов. Анализ показал, что в формировании растительности в разрезе высоким классом постоянства обладают виды с широкой экологической амплитудой, именно они, при выраженности доминирования, являются доминантами и содоминантами в формирующихся сообществах. Естественно в таком случае ожидать различной реакции видов в пределах этого широкого спектра экологических и фитоценологических условий. Но несмотря на довольно многосторонний анализ различными методами — как испытанным «классическим», так и с широким применением многомерных математических методов, реализованных на ЭВМ, — выделить типы стратегий оказалось весьма затруднительно. В то же время проведенный анализ позволяет обсудить стратегию видов по наличию свойств виолентности, патиентности и эксплерентности, принимая эти свойства в трактовке Т. А. Работнова (1975): «Виолентность связана с мощно развитой системой поглощающих органов (листьев, корней), их расположением, обеспечивающим особо полное использование ресурсов. Патиентность — способность растений довольствоваться ограниченным количеством

ресурсов, а также использовать труднодоступные для других растений ресурсы и быть устойчивыми к экстремальным условиям среды (недостатку воды, низкой температуре и т. д.)... Эсплерентность — система приспособлений, определяющая возможность быстро занимать места, освобождающиеся в результате нарушения фитоценозов (наличие жизнеспособных семян в почве, быстрое поступление их извне (анемохоры), выраженное вегетативное размножение)» (с. 125).

В нашем случае можно выделить характерные черты комплекса условий, обеспечивающие проявление этих свойств. Свойство виолентности проявляется в особо благоприятных условиях среды, патиентность (экологическая по Миркину, 1983) предполагает устойчивость к комплексу экологических условий, свойство эсплерентности — наличие свободной территории.

В растительных сообществах Коркинского разреза выделились 44 вида, имеющие факторные нагрузки хотя бы в одной из выделен-

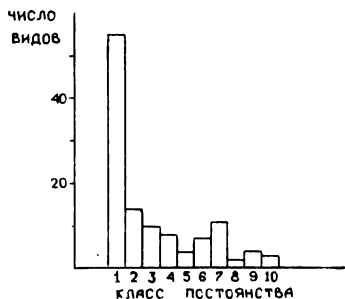


Рис. 29. Гистограмма флоры Коркинского угольного разреза по постоянству видов

ных групп $>0,5$ (см. табл. 38), из них 18 видов имеют класс постоянства >5 (рис. 29).

Самый высокий класс постоянства (X) имеют вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), латук татарский (*Lactuca tatarica*), одуванчик лекарственный (*Тагахасит officinale*), но стратегия каждого из них своеобразна. С учетом факторных нагрузок видов по группам сообществ можно утверждать, что в сообществах, сформировавшихся на благоприятном субстрате (группы I_{1,2,3}), вейник проявляет свойство виолентности, выступая в качестве доминанты. Иногда он образует чистые заросли лишь с единичным присутствием других видов. Высокая энергия вегетативного размножения и устойчивость к малому и среднему засолению субстрата обеспечивают этому виду свойство экологической патиентности в группах сообществ на засоленном субстрате (II₁ и III).

Широко распространен в разрезе тростник (*Phragmites australis*). На сильно переувлажненных участках (в замкнутых углублениях, в местах выхода подземных грунтовых вод) он образует одно-видовые заросли высотой до 2,5 м на значительных площадях, вы-

ступая в качестве виолента. При понижении влажности субстрата можно проследить все градации участия этого вида в сообществах вплоть до единичных вегетативных побегов. Значительно возрастает роль этого вида по показателям обилия, встречаемости и величине надземной массы в сообществах на засоленном субстрате (III группа), где проявляется свойство экологической патиентности.

Как экологический эксплерент, устойчивый к засолению субстрата, можно охарактеризовать кохию веничную (*Kochia scoparia*). Этот вид (класс постоянства VIII) доминирует, образуя чистые заросли на молодых, недавно вышедших из сферы техногенного воздействия участках. Экологическая патиентность у этого вида проявляется в сообществах на засоленном субстрате.

Подобный анализ стратегии можно провести практически для всех видов, имеющих высокий класс постоянства (см. табл. 38), беря за основу факторные нагрузки видов по группам, которые отражают обилие, встречаемость, массу вида в определенных сообществах, и сопоставляя их с положением группы по градиенту временного и эдафического ряда. Изменение стратегии видов в фитоценозах техногенных ландшафтов проявляется в зависимости от эдафических условий, увлажнения и степени их сформированности, так как эти факторы точно зафиксированы. Группировка сообществ Коркинского разреза проведена в зависимости от возраста и свойств субстрата (засоленность и кислотность). Поэтому для видов, выделяющихся по факторным нагрузкам в группе «молодых» сообществ (IV группа), можно говорить о свойстве эксплерентности. Виды с высокими факторными нагрузками в группе сообществ, сформировавшихся на засоленном субстрате (III группа), проявляют в этих сообществах свойство экологической патиентности. Резко выделяющиеся по факторным нагрузкам виды в группе сообществ с благоприятного субстрата (I группа) являются в этих сообществах виолентами, что подтверждается высоким индексом доминирования (отношением массы органов данного вида в определенном фитоценозе к общей массе фитоценоза по Т. А. Работнову, 1981), который составляет для вейника от 30 до 68%.

Виолентность и эксплерентность в группе сообществ проявляют один, реже два вида: вейник — $I_{1,3}$ группа, овсяница луговая (*Festuca pratensis*) — II_2 , вейник и критезон (*Hordeum brachyantherum*) — I_2 , кохия — IV_1 . Они образуют основную массу органического вещества (вейник от 30 до 68%, кохия до 100% надземной массы сообщества), но вейник занимает свою позицию в сообществе по мере его формирования к 20—30 годам, а кохия в первые 1—3 года.

Рассматривая взаимосвязь групп сообществ и эдафических условий, мы устанавливали соответствие и несоответствие между растительностью и такими свойствами субстрата, как засоленность и реакция среды.

В решении проблемы взаимосвязи растительности и среды кроме

**Среднее содержание микроэлементов ($n \cdot 10^{-3}$)
Аккермановского и Новокиевского**

Элемент	Содержание в почвах, $10^{-3}\%$	Аккермановские отвалы								
		пустых пород				бедных руд				
		x	\bar{x}	min	max	x	\bar{x}	min	max	x
Mn	85	91	50	30	200	78	28	30	100	78
		133	29	100	150	210	254	30	500	40
		3,3	2,7	1	10	2,3	1,2	0	3	5,0
V	10	3,7	1,2	3	5	5,0	2,0	3	7	6,7
		101	120	10	500	73	26	30	100	38
Ti	460	500	0	—	—	300	173	200	500	478
		46	52	10	200	200	63	100	300	25
Zr	30	3,9	2,0	0	10	4,0	1,1	3	5	5,6
		7,0	0	—	—	6,0	3,6	3	10	9,3
Zn	5	11	7,6	0	20	9,2	8,0	0	20	12
		5,0	0	—	—	4,3	1,2	3	5	5,2
Sn	—	75	57	10	200	118	63	50	200	122
		0	0	—	—	0	—	—	—	0
Be	0,6	0,7	1,2	0	5	0,2	0,2	0	0,5	0,3
		0,8	1,2	0,7	1	0,5	0,2	0,3	0,7	0,9
Ga	3	0,4	0,5	0	2,0	0,4	0,2	0	0,5	0,8
		0,7	0	—	—	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3
Y	5	0,4	0,5	0	1	0	—	—	—	—
		1,3	0,6	1	2	0,7	0,6	0	1	1
Yb	—	0,3	0,5	0	1	0	—	—	—	0
		1	0	—	—	0,7	0,6	0	1	1
Sr	30	35	17	10	70	22	9,8	10	30	39
		6,7	5,8	0	10	3,3	5,8	0	10	5,5
Se	0,7	0,5	0,6	0	2	0,7	0,5	0	1	1,0
		1,3	0,6	1	2	1,0	0	—	—	1,4
Pb	1,6	2,2	1,1	0	5	2,5	0,9	0,7	3	1,7
		1,2	0,3	1	1,5	1,9	1,2	0,7	3	0,2
Mo	1	0,5	0,5	0,1	2	0,2	0,2	0,1	0,5	0,2
		0,07	0,06	0	0,1	0	—	—	—	0
Ni	0,2	24	15	7	50	68	31	20	100	8,7
		57	12	50	70	167	116	100	300	13
Cu	0,8	7,5	1,7	5	10	6,3	1,0	5	7	2,1
		5,0	0	—	—	5,3	4,0	3	10	3,1
Co	4	3,3	1,2	1	5	6,3	5,3	1	15	8,0
		5,7	1,2	5	7	17	2,9	15	20	3,0
Ba	50	39	30	10	100	22	7,5	10	30	26
		43	12	30	50	10	17	0	30	23
Ag	—	0,4	0,5	0	1	1,7	0,8	0	3	0,8
		0	—	—	—	0	—	—	—	0

мечено, что данным методом анализа элемент не обнаружен. 3. Содержание Be, Yb, Ag, $n \cdot 10^{-4}\%$. 4. Среднее со

Таблица 41

в растениях и субстрате отвалов
месторождений, %

Новокиевский отвал							Общее по двум месторождениям			
Участок 1			Участок 2							
Г	min	max	х	σ	min	max	х	σ	min	max
31	50	150	55	27	15	100	75	39	15	200
23	30	100	39	11	30	50	73	98	30	500
3,1	0	10	4,4	6,6	2	15	4,6	3,2	0	15
1,6	5	10	6,8	0,7	5	7	6,1	1,7	3	10
15	7	50	45	17	10	70	65	74	7	500
67	300	500	344	150	100	500	408	138	100	50
27	2	100	17,5	12	3	50	49	65	2	300
25	70	150	59	11	50	70	133	144	50	500
1,3	3	7	6,0	2,4		15	5,0	2,1	0	10
1,3	7	10	10	2,3	3	10	8,8	2,4	3	15
5,4	7	20	14,7	9,2	0	30	12	7,8	0	30
1,2	3	7	5,4	1,3	7	5,2	1,2	3	7	
79	20	300	162	114	20	500	118	92	7	500
—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—
0,2	0	0,7	0,6	0,2	0,7	1	0,5	0,7	0	5
0,3	0,7	1,5	1,1	0,3	0,7	1,5	0,9	0,3	0,3	1,5
0,4	0,5	1,5	0,8	0,5	0,3	2,0	0,6	0,5	0	2
0,5	0	1,0	1,6	0,3	1,0	2,0	0,9	0,7	0	
—	—	—	0,5	0,6	0	1	0,3	0,5	0	2
0	—	—	1,2	0,4	1	2	1,1	0,4	0	2
—	—	—	0,5		0	1	0,3	0,5	0	2
0	—	—	1,2	0,4	1	2	1	0,4	0	2
19	15	70	29	11	10	50	32	16	10	70
5,2	0	10	41	11	30	50	19	19	0	50
0,7	0	2	23	13	10	50	8,1	13	0	50
0,5	1	2	10	0	—	—	4,6	4,3	1	10
1,1	0,2	3	1,0	0,5	0	2	1,7	1,0	0	5
0,4	0	1	1,3	0,5	1	2	1,0	0,8	0	3
0,3	0	1	2,6	1,6	1	7	1,1	1,4	0	7
—	—	—	0,6	0,3	0	1	0,2	0,4	0	1
3,6	7	20	2	2,6	0	10	18	24	0	100
3,6	10	20	0	—	—	—	33	65	0	300
1,9	0	7	7,3	2,4	2	10	6,0	3,0	0	10
1,2	2	5	12	4,7	7	20	7,1	5,3	2	20
1,7	5	10	8,1	2,1	3	10	6,3	3,1	1	15
1,7	1	7	3,4	1,2	2	5	5,2	4,8	1	20
13	15	50	2,1	1,0	0	3	22	24	0	100
5,0	20	30	1,7	0,9	1	3	16	16	0	50
0,9	0	3	1,3	0,7	0	3	0,1	0,8	0	3
—	—	—	0	—	—	—	0			

Примечания: 1. Верхняя строка — содержание в растениях, нижняя — в субстрате. 2. Цифрой 0 от держание микроэлементов в почвах дано по А. К. Русанову (1971).

индикационной роли растительности имеется и другой подход, основанный на выявлении механизмов взаимосвязи через процессы поглощения вещества и энергии растениями и в конечном счете преобразования ими окружающей среды. Косвенно это отражается в химическом составе растений и связи его с химическим составом субстрата.

В настоящее время в связи с расширением практических работ по биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель остро встает вопрос о качестве продукции, получаемой с рекультивированных территорий. В отвалы попадают породы своеобразного элементного состава, которые осваиваются растениями. О своеобразии химического состава растений с разнотипных отвалов Урала и других регионов страны накоплено достаточно данных (Дробиз и др., 1970; Карташева, 1984, 1985; Махонина, 1987; Олейников и др., 1982; Тарчевский, Дробиз, 1969; Шилова, Логинова, 1974; и др.). Как правило, в статьях содержится большой фактический материал, с трудом поддающийся обобщенному анализу.

При анализе связи растительности и среды через химический состав растений использованы данные не только по Коркинскому угольному разрезу, но для сравнения и по отвалам Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений. Рекультивация на изученных отвалах не проводилась, растительность возникла в процессе самозарастания. Подробная агрохимическая характеристика субстратов поверхности отвалов с анализом начальных процессов почвообразования приведена ранее (Махонина и др., 1976 б). На разновозрастных участках этих отвалов изучался химический состав растений (Махонина, 1981).

Матрица исходных данных по сопряженному изучению химического состава растений и субстрата Аккермановского и Новокиевского отвалов имеет размерность 23×81 , так как проанализирован 81 образец по 23 показателям. В ней приведены результаты 1863 определений. Анализ данных такой таблицы весьма затруднителен. Переход к интегральной оценке химического состава образцов с разных отвалов через среднее значение элементов также мало упрощает дело. Он показал, что содержание микроэлементов в субстрате и растениях изученных отвалов сильно варьирует (см. табл. 40). Наиболее близки между собой показатели на разных участках Новокиевского отвала. Отличие их четко проявляется по содержанию молибдена и никеля. Эти два элемента фигурируют как антагонисты: при отсутствии в субстрате одного присутствует другой.

Усреднение данных по отвалам обоих месторождений решает уже иную задачу (табл. 41). Средние показатели содержания отдельных элементов дают обобщенное представление об уровне микроэлементного состава субстрата и растений, но затушевывают и даже изменяют картину связи элементов в системе «субстрат—растение». Об этом свидетельствуют изменения коэффициентов биологического

Таблица 42

**Коэффициенты биологического поглощения элементов
растениями на отвалах Аккермановского и Новокиевского
железорудных месторождений**

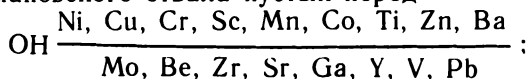
Элемент	Аккермановские отвалы		Новокиевский отвал		Общий по двум место- рождениям
	пустых пород	бедных руд	Участок 1	Участок 2	
Mn	0,7	0,4	1,9	1,4	1,0
V	0,9	0,5	0,8	0,6	0,8
Ti	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2
Cr	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4
Zr	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
Zn	2,1	2,1	2,3	2,7	2,4
Be	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6
Ga	0,6	0,5	2,1	0,5	0,7
Y	0,3	—	—	0,4	0,3
Yb	0,3	—	—	0,4	0,3
Sr	5,3	6,6	7,0	0,7	1,7
Sc	0,4	0,7	0,7	2,3	1,8
Pb	2,0	1,3	6,9	0,8	1,8
Mo	6,6	—	—	4,2	4,5
Ni	0,4	0,4	0,7	—	0,6
Cu	1,5	1,2	0,7	0,6	0,9
Co	0,6	0,4	2,7	2,4	1,2
Ba	0,9	2,2	1,1	1,2	1,4

поглощения на разных отвалах (табл. 42), которые представляют собой отношение содержания микроэлементов в золе растений к их содержанию в грунтосмесях отвалов.

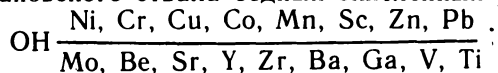
Химический состав организма в конкретном ландшафте зависит от природы данного организма (его систематического положения) и от геохимических особенностей ландшафта (Перельман, 1966). Определенные виды растений в процессе эволюции приспособились к вполне определенному химическому составу субстрата. Говоря о химическом составе растений на отвалах, следует отметить своеобразие микроэлементного состава грунтосмесей отвалов (см. табл. 41).

Сокращенно геохимические формулы (Перельман, 1961) изученных отвалов следующие:

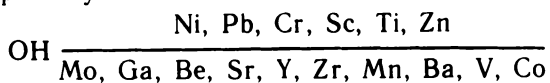
для Аккермановского отвала пустых пород —



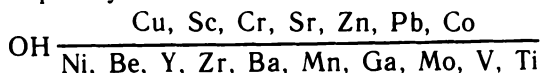
для Аккермановского отвала бедных окисленных руд —



для первого участка Новокиевского отвала —



для второго участка Новокиевского отвала —



В субстрате вышеуказанных отвалов среднее содержание титана, цинка, олова в пределах нормы, т. е. равно или близко по значению среднему содержанию в почве, а на втором участке Новокиевского отвала в тех же пределах имеется кобальт. На всех отвалах в избытке никель, хром, медь, скандий. На Аккермановских отвалах превышают среднее содержание в почвах никель в сотни раз, медь в 6 раз, хром в 5—25 раз соответственно в отвалах пустых пород и на рудном.

Следовательно, грунтосмеси отвалов резко отличаются от почвы по микроэлементному составу. Естественно, что играет роль не только резкий избыток или недостаток какого-то одного элемента, а сбалансированное их содержание, близкое по подобию к зональной почве.

Анализ коэффициентов биологического поглощения (см. табл. 42) показывает, что, вероятно, до определенного предела содержания химических элементов в грунтосмесях происходит их простое поглощение, которое определяется лишь химической природой элемента. С повышением концентрации усиливается регуляторная роль самого растения. А. Л. Ковалевский (1969) установил, что наиболее сильная зависимость растения и его химического состава от питательной среды — при малом содержании в ней химического элемента (геохимическая среда — лимитирующий фактор), при большом содержании химический состав растений зависит от биологических особенностей растений и физиологической роли данного элемента.

Например, коэффициент биологического поглощения марганца при избытке элемента в субстрате в 1,5—2,5 раза равен 0,4—0,6, а при недостатке в 2 раза коэффициент увеличивается до 1,4—1,9. Особенно наглядно это проявляется при анализе содержания в растениях кобальта и стронция. При избытке этих элементов коэффициент биологического поглощения растениями составил для кобальта 0,4—0,6, для стронция 0,7, а при недостатке соответственно 2,4—2,7 и 5,2—7,0.

Кроме того, интерпретация результатов по микроэлементному составу трудна из-за сильного варьирования показателей (табл. 43).

Все микроэлементы имеют высокий уровень изменчивости, особенно при усреднении показателей по отвалам двух месторождений. Можно лишь уверенно констатировать, что уровень изменчивости их в субстрате ниже, чем в растениях. Трудно, а в отдельных случаях практически невозможно судить об устойчивости полученной описа-

тельной модели, поэтому авторами сделана попытка применения многомерных математических методов для анализа результатов сопряженного изучения химического состава растений и грунтосмесей отвалов.

Таблица 43

**Уровни изменчивости содержания
микроэлементов в субстрате и растениях
с отвалов Аккермановского и Новокиевского
железородных месторождений**

Коэффициент вариации, %	Микроэлементы	
	в растениях	в субстрате
0—20	—	—
21—40	—	Ti, Zr, Zn, Be, Y, Yb
41—60	Mn, Zr, Sr, Cu, Co	—
61—80	V, Zn, Ga, Pb	V, Ga, Cu
81—100	—	Sc, Pb, Co, Ba
>100	Ti, Cr, Be, Y, Yb, Sc, Mo, Ni, Ba	Mn, Cr, Sr, Mo, Ni

Метод главных компонент (вариант факторного анализа) подробно описан в статье Т. С. Чибрик и Ю. А. Елькина (1989 а). Химический состав образцов грунтосмесей и растений рассматривался нами как сумма признаков, т. е. каждый образец характеризовался набором значений определенных химических элементов. Исходная матрица включала характеристику 81 образца по 23 признакам. На ее основе получена корреляционная матрица признаков (микроэлементов)* по содержанию их в растениях и субстрате (табл. 44). Ее анализ показал, что характер связи признаков в растениях и субстрате различен (рис. 30). При анализе структуры признаков субстрата четко выделяются по крайней мере три группы микроэлементов: первая — марганец, никель, кобальт, хром; вторая — галлий, стронций, скандий, молибден; третья — иттрий, иттербий, цирконий. Корреляционная связь остальных элементов более слабая, большинство из них тяготеет ко второй группе. Дендрограмма сходства позволяет выделить группы сцепленных признаков — генетические и ситуационные. Последние, на наш взгляд, будут довольно часто встречаться на промышленных отвалах. Корреляционные связи признаков (микроэлементов) по содержанию их в растениях менее четки.

В основе метода главных компонент лежит корреляционная матрица признаков. Естественно, что корреляционная связь содержания отдельных элементов не является чисто функциональной. Тем не менее для анализа видов по химическому составу она полезна. Факторизация признаков по методу главных компонент позволила выделить группы элементов, имеющие существенные нагрузки по определен-

ному фактору (табл. 45, 47). Распределение признаков в факторном пространстве показывает, с одной стороны, их относительную независимость (довольно рассеянное расположение), но, с другой стороны, по некоторым факторам выделяются более или менее тесно связанные

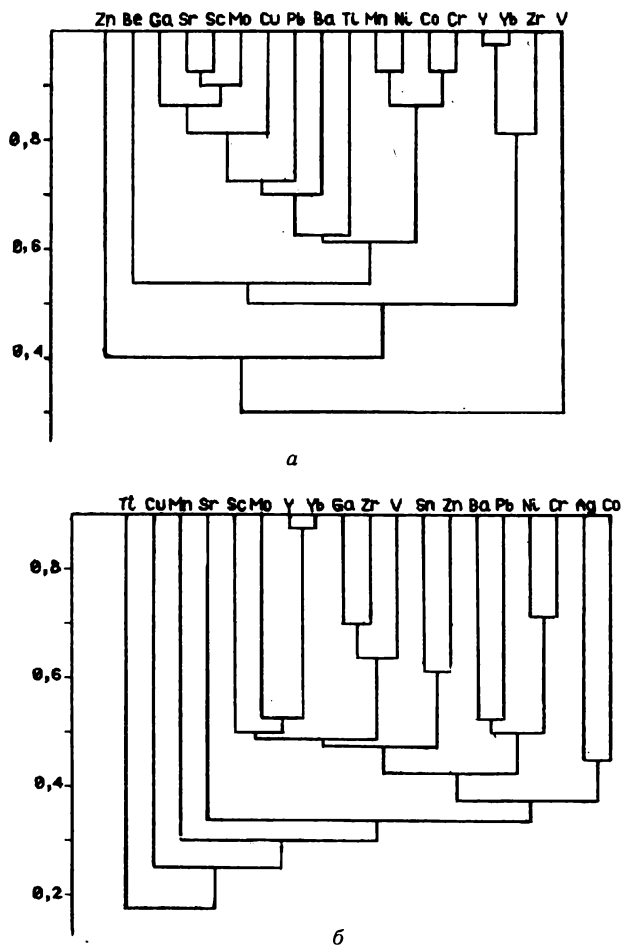


Рис. 30. Кластеризация химических элементов по содержанию их в субстрате (а) и растениях (б) на отвалах Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений

группы. Существенным положительным моментом этого метода является тесная связь признаков, выделенных с высокой положительной нагрузкой по определенному фактору, с группой видов, также имеющих высокие положительные нагрузки по этому фактору. Анализ

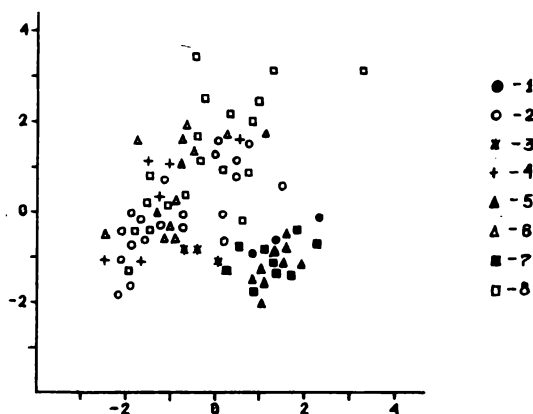


Рис. 31. Взаиморасположение образцов субстрата и растений в факторном пространстве на основе их химического состава:

1 — субстрат; 2 — растения с Аккермановского отвала пустых пород; 3 — субстрат; 4 — растения с Аккермановского отвала бедных руд; 5 — субстрат; 6 — растения с Новокиевского отвала, участок 1; 7 — субстрат; 8 — растения с Новокиевского отвала, участок 2 (здесь и далее на рис. 33)

факторных нагрузок образцов субстрата и видов (табл. 46, 48; рис. 31) позволяет выделить группы видов, более или менее сходные по элементному составу.

Факторный анализ по главным компонентам позволил получить факторные нагрузки по 4 главным факторам на основе содержания микроэлементов в субстрате (см. табл. 45). Факторные нагрузки отражают взаимосвязь микроэлементов в субстрате. По 1-му фактору выделилась группа скандия, с которой сильно отрицательно скоррелирован барий, слабее титан, слабо положительно иттербий, по 2-му — группа никеля (никель, кобальт, марганец, хром) с положительно и отрицательно связанными с ними элементами, по 3-му и 4-му — соответственно группа иттрия, иттербия и группа цинка.

Факторные нагрузки по образцам (см. табл. 46) отражают связь с определенными микроэлементами, и чем выше факторные нагрузки, тем больше их содержание. С группой микроэлементов, выделившихся по 1-му фактору, связаны грунтосмеси первого участка Новокиевского отвала, с «группой никеля» — образцы Аккермановского отвала бедных окисленных руд.

Следует заметить, что факторный анализ по главным компонентам очень чувствителен к содержанию того или иного элемента, т. е. по величине факторной нагрузки образца по определенному фактору можно с уверенностью судить о содержании элементов, выделенных с высокими факторными нагрузками по этому фактору.

Подобный анализ можно провести и по содержанию химических элементов в растениях (табл. 47, 48). По величине факторных на-

**Корреляционная матрица содержания
и растениях
на отвалах Аккермановского и**

Элемент	Mn	V	Ti	Cr	Zr	Zn	Sn	Be	Ga
Mn		0*	-0,3	0,6	-0,5	0	0	-0,4	0,2
V	-0,3		0,2	-0,2	0	0	0	0	0
Ti	0,2	0		-0,3	0,3	-0,5	0	-0,3	-0,4
Cr	0,3	0	0		-0,5	-0,3	0	-0,5	-0,2
Zr	0	0,6	0	0		-0,2	0	0,3	0,3
Zn	0,2	0,5	0	0,2	0,5		0	0,3	0,2
Sn	0	0,2	0	0	0,4	0,6		0	0
Be	0	0	0	0	0	0	0		0,4
Ga	0	0,7	0	0	0,6	0,4	0,3	0,2	
Y	0	0,3	0	0,2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,5
Yb	0	0,3	0	0,2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,5
Sr	0	0	0	-0,3	0	0	0	0,2	0
Sc	-0,3	0,3	-0,2	-0,3	0,3	0,2	0,2	0	0,2
Pb	0,4	0	0,3	0,5	0	0,2	0	0,2	0,4
Mo	-0,3	0,5	0	-0,3	0,4	0,4	0,5	0	0,5
Ni	0,2	-0,4	0	0,7	-0,4	0	0	0	-0,3
Cu	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,2	0
Co	-0,2	0,3	-0,3	0	0,2	0,2	0,5	-0,2	0,3
Ba	0,3	-0,3	0,3	0,2	0	0	-0,3	0,2	0

* Коэффициент корреляции по абсолютной величине $< 0,2$

грузок микроэлементов в группах, выделенных по определенному фактору, можно условно определить, какой элемент сформировал эту группу. Этот элемент имеет максимальную факторную нагрузку. Одновременный анализ исходной матрицы и табл. 47 и 48 факторных нагрузок дает возможность выявить те элементы, изменение содержания которых определяет факторные нагрузки видов. В надземной части видов, имеющих высокие факторные нагрузки по определенному фактору, содержание элементов, выделившихся по этому фактору при факторизации микроэлементов с учетом содержания их в растениях, ближе к максимуму. В свою очередь у видов, имеющих отрицательные факторные нагрузки, как правило, содержание соответствующих микроэлементов низкое и тем ближе к минимуму, чем больше абсолютная величина факторной нагрузки. Например, полынь австрийская на 2-м участке (группа IV₂) Новокиевского отвала по первому фактору имеет максимальную факторную нагрузку 3,5 (см. табл. 48). Содержание галлия, ванадия, циркония, иттербия, иттрия, молибдена на этом участке у полыни австрийской максимальное, а цинка близко к максимуму и на много выше среднего (максимум — $30 \cdot 10^{-3}\%$, среднее — $14,7 \cdot 10^{-3}\%$). Второй фактор организует группа микроэлементов: никель, хром, свинец. Из растений по этому фактору с высокими факторными нагрузками от 1,1 до

**микроэлементов в субстрате (верхняя часть)
(нижняя часть)
Новокиевского железорудных месторождений**

Y	Yb	Sr	Sc	Pb	Mo	Ni	Cu	Co	Ba
0	0	-0,3	-0,3	0,6	-0,2	0,9	0	0,7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-0,2	0
0	0	-0,4	-0,4	-0,7	-0,3	-0,3	-0,7	-0,4	0,5
-0,4	-0,5	-0,4	-0,5	0,4	-0,4	0,8	-0,2	0,9	0
0,5	0,7	0,5	0,4	-0,5	0,4	-0,5	0	-0,5	0
0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	-0,2	0,4	-0,2	-0,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,4	0,5	0,5	0,5	0	0,4	-0,5	0,6	-0,4	0
0,4	0,4	0,8	0,8	0,5	0,8	-0,2	0,7	0	-0,6
	0,9	0,4	0,3	0	0,4	-0,2	0,3	-0,2	0,2
1,0		0,5	0,4	0	0,5	-0,3	0,4	-0,3	0
0	0		0,93	0,3	0,8	-0,4	0,8	-0,3	-0,6
0,2	0,2	0,3		0,3	0,9	-0,4	0,8	-0,3	-0,7
0,2	0,2	0	-0,4		0,3	0,6	0,7	0,6	-0,5
0,5	0,5	0	0,5	-0,3		-0,4	0,7	-0,2	-0,6
0	0	-0,3	-0,4	0,4	-0,4		0	0,9	0
0,4	0,4	0	0,2	0,2	0,4	0		0	-0,6
0	0	0	0,4	-0,2	0,3	-0,2	-0,2		0
0	0	0,4	-0,5	0,6	-0,4	0,2	0	-0,4	

3,0 выделились виды, выросшие на Аккермановском отвале бедных руд, надземная масса которых содержит никеля и хрома соответственно в 3,8 и 4,1, а свинца в 1,4 раза выше среднего значения для растений с отвалов двух месторождений. Таким образом, сопоставление таблиц факторных нагрузок микроэлементов на основе содержания их в растениях (см. табл. 47) и факторных нагрузок видов (см. табл. 48) дает полную обобщенную картину содержания микроэлементов в надземной массе изученных видов.

При кластерном анализе данные представлены также в виде первичной матрицы, строки которой (объекты анализа) — образцы субстрата и золы растений, охарактеризованные по 23 признакам (столбцы матрицы). Проведена автоматическая классификация объектов (рис. 32) по сумме признаков на основе расстояния между объектами в данном пространстве признаков (евклидова метрика). В результате отдельными группами выделились образцы субстрата, причем образцы с отвалов пустых пород в виде трех групп в центре, образцы с отвала бедных руд заняли краевые места в дендрограмме. Это свидетельствует о своеобразии химического состава грунтосмесей отвалов пустых пород и рудных. Образцы золы растений по химическому составу размещаются между этими крайними положениями. Более четко кластеризация видов идет по местообита-

Таблица 45

**Факторные нагрузки микроэлементов
по главным компонентам
на основе содержания их в субстрате
Аккермановских и Новокиевского отвалов**

Эле- мент	Фактор			
	1	2	3	4
Sc	0,91	-0,27	0*	0
Sr	0,86	0	0,31	0
Ga	0,85	0	0	0
Ba	-0,85	0	0	0
Mo	0,83	0	0,30	0
Cu	0,78	0	0	0,5
Pb	0,52	0,68	0	0,42
Ti	-0,51	-0,41	0	-0,55
Ni	0	0,96	0	0
Co	0	0,94	0	0
Mn	0	0,88	0	0
Cr	0	0,82	-0,36	0
Y	0	0	0,95	0
Yb	0,27	0	0,91	0
Zr	0	-0,48	0,59	-0,47
Zn	0	0	0	0,85
V	0	0	0	0
Sn	0	0	0	0
Be	0,33	-0,42	0,34	0,48

* Факторная нагрузка по абсолютной величине
< 0,25 (здесь и далее в табл. 46, 47).

ниям. Таким образом, обозначились два уровня тесноты связи, наиболее тесная связь в системе субстрат — растения. Видовая специфика проявляется не всегда, тем не менее виды с Аккермановского отвала пустых пород по микроэлементному составу разделились на группы. Обособились группа злаков и две группы разнотравья и бобовых. На дендрограмме наблюдается обособление одних и тех же видов с разных отвалов.

Как указано выше (см. гл. 1), в каноническом анализе исходной матрицы задается структура. В качестве структурных групп взяты результаты химического анализа образцов грунтосмесей из золы надземной части растений Аккермановского отвала пустых пород (I группа), Аккермановского отвала бедных окисленных руд (II группа), двух оказавшихся разными по химическому составу пород участков Новокиевского отвала (III и IV группы). На рис. 33 показано взаиморасположение групп в новом пространстве признаков меньшей размерности. Анализ показал, что по совокупности признаков, по химическому составу образцов растений и субстрата I, II и IV группы достаточно различаются, и в новых канонических осях эле-

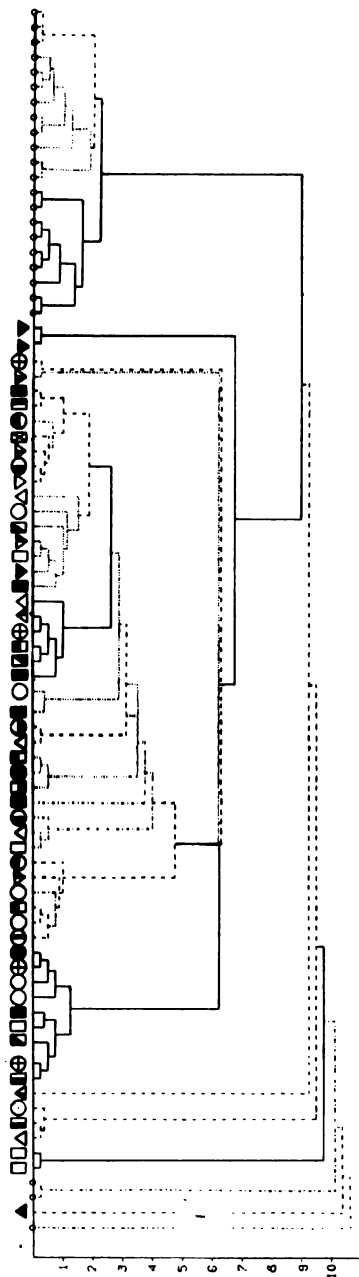
Таблица 46

**Факторные нагрузки образцов субстрата с Аккермановских
и Новокиевского отвалов по главным компонентам
на основе их микроэлементного состава**

Глубина отбора, см	Рельеф	Фактор			4
		1	2	3	
Аkkerмановский отвал пустых пород					
0—2	Ровная	-1,04	0	0	0,61
2—7	поверхность	-1,26	0,65	1,42	0
7—20		-0,70	0	0	0
Аkkerмановский отвал бедных руд					
0—2	Ровная	0	1,15	0	-2,03
2—7	поверхность	0	1,37	-3.11	0
7—20		0	3,88	0	0
Новокиевский отвал, участок 1					
0—2	«Дно»	-0,75	-0,47	0	0
2—7	понижений	-0,61	-0,62	0	-0,95
7—20		1,23	-0,76	-0,39	0,02
0—2	Склон	-1,05	-0,57	0	0
2—7	понижений	-0,93	0	0	0
7—20		-1,08	-0,82	0	0
0—2	Ровная	-0,60	0	0	0
2—7	поверхность	-0,70	-0,44	0	0
7—20		-0,68	-0,59	0	0
Новокиевский отвал, участок 2					
0—2	«Дно»	1,00	0	-0,58	2,37
2—7	понижений	1,26	0	2,04	1,40
7—20		1,33	0	-0,50	1,99
0—2	Склон	1,17	-0,43	0	-1,40
2—7	понижений	1,27	0	2,36	-0,95
7—20		1,49	-0,42	0	-0,40
0—2	Ровная	1,28	-0,49	0	-0,86
2—7	поверхность	0,85	-0,47	0	-0,66
7—20		0,90	-0,62	0	-0,58

менты этих групп (отдельные образцы) располагаются практически без пересечения, особенно в группах I и IV, II и IV. Эти группы отражают своеобразие химического состава растений и грунтосмесей разных пространственно удаленных отвалов. Малое пересечение наблюдается между I и II группами и существенное между I и III (см. рис. 33).

Если рассматривать химический состав совокупности растение—среда отдельного отвала как систему, то можно выделить и подсистемы, характеризующие более дробные элементы системы. В качестве отличающихся подсистем, характеризующих химический состав всей системы, на определенном отвале можно рассматривать различные положения рельефа. На Новокиевском отвале произведена грубая планировка и при оседании грунтосмесей образовались



I
II
III
IV

▼ - 1 ⊕ - 4 ▲ - 7 ◇ - 8 ⊕ - 11 ○ - 13 ⊙ - 16 ▼ - 19
 ○ - 2 □ - 5 □ - 6 ● - 9 ▼ - 10 ⊕ - 14 ⊕ - 15 ⊕ - 17 ▲ - 20
 □ - 3 □ - 12 □ - 18 □ - 23 □ - 24 □ - 25 □ - 26 ○ - 27

Рис. 32. Кластеризация образцов надземной части растений по видам и образцов субстрата с Аккермановских и Ново-киевского отвалов по содержанию в них микроэлементов:

I — Аккермановский отвал пустых ворода; II — Аккермановский отвал бедных железных руд; III — Новокиевский отвал, участок I; IV — Новокиевский отвал, участок 2; I — *Achillea nobilis*; 2 — *Agrostium cristatum*; 3 — *Agrostis tenuis*; 4 — *Artemisia absinthium*; 5 — *A. austriaca*; 6 — *A. campestris*; 7 — *A. lercchiana*; 8 — *A. sericea*; 9 — *A. sieversiana*; 10 — *Astragalus wolgensis*; 11 — *Atriplex nitens*; 12 — *Cichorium inthibus*; 13 — *Festuca valesiaca*; 14 — *Galium verum*; 15 — *Gypsophila paniculata*; 16 — *Helichrysum arenarium*; 17 — *Kochia scoparia*; 18 — *Linaria vulgaris*; 19 — *Matricaria perforata*; 20 — *Medicago falcata*; 21 — *Melilotus albus*; 22 — *M. wolgensis*; 23 — *Setaria viridis*; 24 — *Silene* sp.; 25 — *Stipa korsinskiyi*; 26 — *Taraxacum officinale*; 27 — *Thymus serpyllum*.

Таблица 47

**Факторные нагрузки микроэлементов по главным компонентам
на основе содержания их в растениях
с Аккермановских и Новокиевского отвалов**

Элемент	Фактор								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ga	0,88	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0,80	0	0	0	0	-0,25	0	0	0
Zr	0,77	0	0	0	0	0	0	0	0
Yb	0,64	0	0	0	0,40	0,41	0	0	0
Y	0,64	0	0	0	0,40	0,41	0	0	0
Mo	0,55	0	-0,32	0,27	0,46	0	0	0	0
Zn	0,54	0	0	0,40	0,28	0	0	0,37	0
Ni	-0,29	0,87	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0,86	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0,55	0,61	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0,75	-0,28	0	0	0	0	0
Sr	0	-0,48	0,62	0	0	0	0	0	-0,39
Sc	0	-0,34	-0,60	0,31	0,37	0	0	0	0
Mn	0	0	0,51	0	0	0	0	0,43	0,39
Ag	0	0	0	0,77	0	0	0	0	0
Co	0	0	-0,29	0,72	0	0	0	0	0
Sn	0,34	0	0	0,62	0	0,41	0	0	0
Cu	0	0	0	0	0,89	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0,77	-0,30	0
Be	0	0	0	0	0	0	-0,67	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0,84	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0,91
Tl	0	0	0,44	0	0,33	-0,45	0,41	0	0

Таблица 48

**Факторные нагрузки видов с Аккермановских и Новокиевского отвалов
по главным компонентам на основе их химического состава**

Вид	Фактор								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Аккермановский отвал пустых пород (группа I)									
Люцерна серповидная	1,4	0*	1,2	-1,6	0,8	-2,7	3,1	-1,0	1,2
Донник волжский	-0,9	0	0	0	0	0	1,1	-1,4	-0,7
Астрагал волжский	-1,2	-1,0	1,4	-0,5	0	0	0,8	-1,1	-1,4
Житняк гребневидный	0	1,0	0	-0,7	0,6	0,7	0,8	1,0	-1,0
Ковыль Коржинского	0	1,3	0,7	0	1,2	1,2	0,7	0	0
Овсяница бороздчатая,									
типчак	0	1,3	0,7	0	0,8	1,2	0,5	0,7	0
Смолевка	-1,0	0	0,6	0	0	0	0	-1,2	-0,8
Полынь Лерха	0	0	0	-0,8	0,5	0	0	0,9	1,6
Полынь горькая	2,5	1,1	0	-2,2	-0,9	0	0	0	0,5

Вид	Фактор								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ромашка непахучая	0	1,2	1,4	-0,5	1,0	0,7	0	1,3	0
Подмаренник настоящий	0	-0,5	3,5	0	1,8	-2,0	0	-0,6	-1,0
Лебеда лоснящаяся	-0,8	0	0	-0,5	0	0	0	0	2,6
Кохия веничная	-1,1	0	-0,7	-1,6	0	0	1,4	1,3	-0,8
Цмин песчаный	-0,8	0	1,5	0	1,4	-1,1	-0,5	0,5	2,2
Качим метельчатый	-0,4	1,6	-1,0	-1,0	0,4	-0,4	-1,2	0	-0,8
Льнянка обыкновенная	-1,2	-0,5	0	-0,9	0,4	0	0	0	0
Тысячелистник благо- родный	-0,7	0	0	-1,1	0	0	0	1,5	-0,8
Чабрец ползучий	0	-0,5	1,9	-1,6	0,5	1,1	-2,4	0,4	0,5
Щетинник зеленый	-1,1	-0,8	0	-1,4	0,9	-0,8	-4,2	-1,9	0
Аккермановский отвал бедных железных руд (группа II)									
Донник волжский	-0,5	1,1	0	-1,2	0	0,6	1,7	-1,4	0
Овсяница бороздчатая	0,4	2,7	0,6	0	0	0,7	0,4	0,5	0
Полынь австрийская	-0,6	3,0	-0,5	1,9	0	-1,3	-0,4	-0,4	0
Полынь Лерха	-0,8	2,8	0	0,5	0	0	0	-0,5	1,1
Качим метельчатый	-1,5	1,3	-0,9	-0,5	0	-0,5	0	0	-0,9
Льнянка обыкновенная	-0,8	1,8	0	2,3	0	-1,1	0	0	0
Новокиевский отвал, участок 1 (группа III ₁)									
Донник волжский	0	-0,9	0	0	-1,8	1,2	1,4	-0,5	0
Овсяница бороздчатая	0	0	1,3	0,8	-1,5	-0,6	-0,5	0	-0,9
Полевица обыкновенная	0,6	0	0	0,8	-2,0	-1,2	0	0,9	-0,5
Полынь Лерха	0	0	0	0	-1,6	2,3	0	0	1,6
Ромашка непахучая	0	0	0	0	-1,5	0	0	1,5	-1,2
Тысячелистник благо- родный	1,8	0	1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,1	-1,3	0
Цикорий обыкновенный	0	-0,9	0	0	-2,0	0	0	1,0	-0,8
Новокиевский отвал, участок 1 (группы III ₂ , III ₃)									
Донник волжский	-1,0	-1,0	1,0	1,9	0	0,9	0,5	0	-0,9
Полынь австрийская	-0,6	0	0	0	-1,3	0	0	0	0
Овсяница бороздчатая	-1,3	-0,9	0,7	0	0	1,0	0	0	-1,4
Ковыль Коржинского	0,7	0	0	0	-2,2	0	-0,8	-1,0	1,1
Полынь северса	1,0	0	1,0	0,7	-0,4	0	0	1,1	1,8
Одуванчик лекарствен- ный	0	0	0	-1,4	-1,4	0	0	0,9	0
Новокиевский отвал, участок 2 (группа IV ₁)									
Донник волжский	0	-0,7	-1,0	0	1,0	0	1,6	-1,4	1,0
Астрагал волжский	0,6	0	-1,3	-1,0	-0,9	-0,9	0,5	-2,1	0
Донник белый	-0,9	-0,9	-1,4	-0,8	0	0	0	-0,9	0,6
Полынь австрийская	0	0	-1,4	0,6	1,5	2,4	-0,7	0	0,9
Полынь полевая	-0,8	-0,7	-1,0	0	0	-0,6	0	0,8	1,6
Полынь северса	0	-0,9	0	1,7	0,7	-0,9	0	1,3	2,2
Полынь горькая	-0,8	-0,6	-1,5	0	-0,7	0	0	-1,0	1,1
Цикорий обыкновенный	0	0	-2,2	0,9	0,9	-1,9	0	1,0	-0,8
Новокиевский отвал, участок 2 (группа IV ₂)									
Донник волжский	0	0	-0,8	0	0	1,1	0	-1,7	0
Овсяница бороздчатая	1,2	0	-0,9	0	1,0	0	0	0	-1,3
Полынь австрийская	3,5	0	0	0	1,3	1,0	0	-1,5	-1,4
Полынь горькая	0	-0,8	-0,7	0,8	0	-1,1	0,6	0	-1,0
Цикорий обыкновенный	1,3	-0,7	-0,9	1,1	1,2	0	0	1,2	-0,6

Вид	Фактор								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Новокиевский отвал, участок 2 (группа IV ₃)									
Овсяница бороздчатая	0	-1,4	0,7	2,2	0,7	1,3	1,2	0,8	-0,7
Ковыль Коржинского	-0,9	-0,8	-0,9	0	0	0,6	-0,8	0	0
Полынь горькая	0,8	-0,6	-0,6	0,9	0,5	0,5	0	0	0
Полынь австрийская	1,9	-0,7	0	0	1,2	0	0	-0,6	0
Полынь шелковистая	1,1	0	0	0,6	0	0	-0,9	0	-0,6
Одуванчик лекарственный	0,5	0	-1,0	-1,4	0,7	0	0	1,9	0

* Факторная нагрузка на абсолютной величине $< 0,5$.

замкнутые понижения. Отбор образцов на обоих участках Новокиевского отвала производился на ровной поверхности, склоне и «дне» этих понижений. В результате III и IV группы делились на

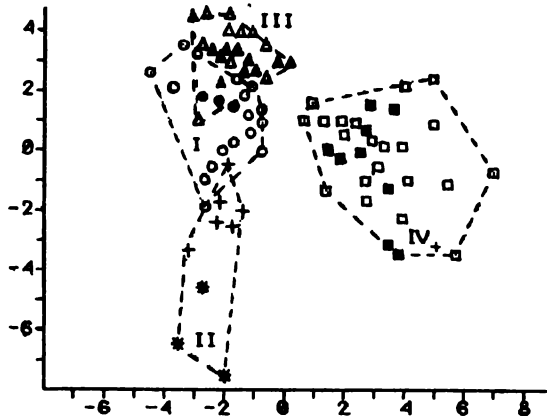


Рис. 33. Расположение групп объектов и самих объектов (образцов субстрата и золы растений) в новых канонических осях. Римскими цифрами обозначены группы «субстрат — растение» с отвалов: I — Аккермановского пустых пород; II — Аккермановского бедных руд; III — Новокиевского, участок 1; IV — Новокиевского, участок 2 (здесь и далее на рис. 34, 35)

подгруппы III₁, III₂, III₃ и IV₁, IV₂, IV₃. Результаты канонического анализа с учетом этих подгрупп картину расположения групп практически не изменили (рис. 34). Подгруппы образовали две тесно связанные группы (рис. 35), причем III₁, III₂, III₃ связаны с I группой и по дендрограмме их можно рассматривать как одну. В связи с этим встал вопрос об определении степени сходства этих дополнительно выделенных групп между собой и с группой I.

С этой целью был использован описанный выше (см. гл. 1) коэф-

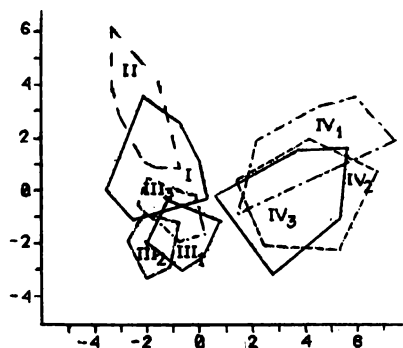


Рис. 34. Расположение групп и подгрупп объектов (образцов субстрата и золы растений) в новых канонических осях на основе их химического состава. Описание подгрупп III₁—III₃ и IV₁—IV₃ в тексте

фициент сходства K , т.е. была проверена устойчивость графической модели по функции расстояния. Этот коэффициент разработан и применен на зоологических объектах для определения степени сходства видов как по морфометрическим, так и по качественным признакам (Елькин, Ищенко, 1979; Ищенко, Елькин, 1981; Хохуткин, Елькин, 1982). Теоретически он изменяется от 0 до 1, но, как

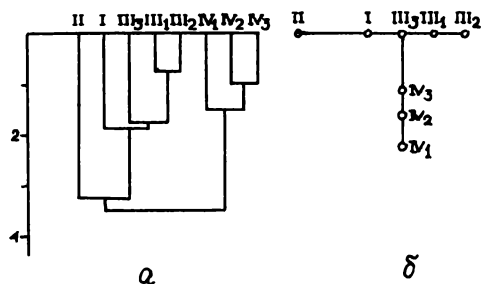


Рис. 35. Дендрограмма (а) и граф сходства (б) групп и подгрупп объектов (образцов субстрата и растений) с Аккермановских и Новокневского отвалов по метрике расстояния D^2 -Махаланобиса между центрами групп на основе их химического состава

показывает опыт его применения, по верхнему пределу для реальных выборок он колеблется около 0,5 (табл. 49). Практический смысл такого поведения коэффициента описан в гл. 1. Исходя из этого можно считать, что группы IV₂ и IV₃ с коэффициентом сходства 0,3 практически не отличаются друг от друга, и структура дендрограммы по метрике расстояния таким образом верифицируется на устойчивость другим методом. Группы с показателем сходства 0,3 также следует признать сильно сходными между собой, так как 30% сравниваемых объектов этих групп мало отличаются друг от друга. Такой анализ нельзя провести по значениям мер расстояния между группами, которые дают оценку близости, но не нормированы.

Таблица 49

**Меры расстояния D²-Махаланобиса
между центрами «тяжести» (верхняя часть)
и коэффициенты сходства (нижняя часть) групп
с Аккермановских и Новокиевского отвалов**

Группа	I	II	III ₁	III ₂	III ₃	IV ₁	IV ₂	IV ₃
I		3,4	2,0	2,25	1,07	4,85	4,81	3,91
II	0*		5,33	5,29	4,54	6,55	7,13	6,50
III ₁	0	0		0,73	1,04	5,4	5,0	4,7
III ₂	0	0	0,30		1,38	6,20	5,6	4,7
III ₃	0,15	0	0,18	0		4,35	4,50	3,56
IV ₁	0	0	0	0	0		1,34	1,90
IV ₂	0	0	0	0	0	0,30		0,91
IV ₃	0	0	0	0	0	0,20	0,47	

* Коэффициент сходства < 0,15.

Проведенный анализ показал перспективность использования рассмотренных многомерных математических методов: метода кластерного анализа, метода главных компонент и канонического анализа, метода построения сходства между конечными множествами в многомерном пространстве признаков при сопряженном изучении химического состава растений и субстрата. Эти методы дают возможность как бы «сбить» исходную информацию, представив ее в более компактной и удобной для анализа иллюстративной форме, расширяют наши представления как о корреляционной связи микроэлементов, так и о субстрате отвалов и химическом составе видов на разных отвалах. Очень ценна возможность обобщенного анализа по комплексу показателей. В целом применение многомерных математических методов дает возможность более углубленного анализа исходных данных по химическому составу растений.

При геоботаническом описании фиксируется жизненность описанных видов. Большинство взятых для анализа видов не испытывают явного угнетения, проходят полный цикл развития, т. е. можно говорить об адаптации их к своеобразному химическому составу субстрата. Применение многомерных математических методов при сопряженном изучении химического состава растений и субстрата отвалов позволяет подойти к анализу адаптационной реакции видов на избыток или недостаток химических элементов (Ковальский, Петрунина, 1965).

Таким образом, сопряженное изучение химического состава растений и субстратов на отвалах рудных месторождений показало их причинно-следственную связь. В целом можно говорить о своеобразии микроэлементного состава субстратов на каждом техногенном образовании, связанном с определенным месторождением полезного

ископаемого. Для сравнения с отвалами рудных месторождений взят Коркинский угольный разрез.

На Коркинском разрезе при описании растительности на ключевых участках отбирались не только образцы пород для агрохимического анализа, но и усредненные пробы надземной массы по возможности всех видов (10—15 экземпляров). После сухого озоления в Центральной лаборатории Уральского территориального геологического управления полуколичественным спектральным методом определен химический состав золы растений (735 образцов). Каждый образец представляет собой вид в определенном местообитании, который охарактеризован по 19 признакам (17 микроэлементов во всех или большинстве проб не обнаружены). Была определена концентрация микроэлементов в надземной массе растений 28 описанных растительных сообществ. Общее число изученных сообществ 37.

Породы Коркинского угольного разреза по средней концентрации микроэлементов близки к осадочным глинистым породам по А. П. Виноградову (1962). По части определенных микроэлементов они сходны с грунтосмесями отвалов Аккермановского и Новокиевского месторождений хромоникелевых железных руд (табл. 50). Грунтосмеси отвалов этих рудных месторождений имеют избыток никеля, хрома, кобальта, меди, содержание которых здесь в десятки раз больше по сравнению с почвой, в то время как в породах разреза их концентрация превышена в 1,5—3 раза.

Как указано выше, сообщества Коркинского разреза сгруппировались по флористическому составу в зависимости от возраста и свойств субстрата (группы I—IV). Статистический анализ по содержанию элементов в надземной массе растений проведен по этим выделившимся группам, для сравнения приведены данные по группе естественных сообществ (группа 0) и по разрезу в целом (табл. 51). Сравнительный анализ содержания микроэлементов по группам сообществ информативнее и легче интерпретируется, чем при сравнении средних показателей по естественным сообществам и в общем по разрезу. Учитывая высокую изменчивость показателей по химическому составу растений (табл. 52), можно установить некоторые тенденции его изменения по группам сообществ, исключив из анализа IV группу, которая объединяет молодые сообщества с малочисленным и случайным видовым составом при абсолютном доминировании кохии веничной. Группы 0, I, II, III отражают эдафический ряд от почвы (0) до участков с неблагоприятным сильнозасоленным субстратом (III). Наблюдается увеличение зольности в надземной массе разреза как по группам, так и в среднем по разрезу. В ряду от естественных сообществ к сообществам на засоленном субстрате содержание никеля, кобальта, цинка, бериллия стабильно увеличивается, а фосфора, серебра, молибдена, бария, олова — снижается.

Сравнение среднего содержания микроэлементов в надземной массе растений разреза и отвалов Новокиевского и Аккермановского

**Обобщенная характеристика
микроэлементного состава субстрата
Коркинского угольного разреза и отвалов Новокиевского
и Аккермановского железорудных месторождений**

Элемент	Средняя концентра- ция в гли- нистых по- родах по А. П. Вино- градову, %	Относительное содержание	
		Породы Коркинского разреза	Породы отвалов Новокиевского и Аккерма- новского месторождений
Mn	0,0670	< в 2 раза	< в 2; > в 5 раз*
Ni	0,0095	> в 1,5—2,5 раза	> в 3—42 раза**
Co	0,0020	> в 1,5—3,0 раза	Норма; > в 25 раз
V	0,0130	Норма	< в 3 раза, норма
Ti	0,4500	Норма	< в 4,5 раза; норма
Cr	0,0100	Норма — > в 2,5 раза	> в 5—20 раз
Zr	0,0200	< в 3 раза	< в 2—10 раз
Mo	0,0002	< в 2—3 раза — норма	Норма — < в 5 раз
Cu	0,0057	> в 3—5 раз	Норма — > в 10 раз
Zn	0,0080	> в 1,2—1,4 раза	Норма
Pb	0,0020	> в 1,5 раза	Норма
Sn	0,0010	< в 2—3 раза	Не определяется
Be	—	< в 2—6 раз	< в 2—6 раз
Ba	0,0760	Норма — > в 1,4 раза	Норма
Sr	0,0450	< в 3 раза	< в 1,5 раза
Sc	0,0010	> в 2—3 раза	> в 6,5 раза
Ga	0,0030	< в 1,5—2 раза	> в 1,5—3 раза
Y	0,0030	< в 2,5—5 раз	< в 5 раз

* Соответственно для Новокиевского и Аккермановского месторождений.

** Общее для обоих месторождений.

хромоникелевых железорудных месторождений показывает их своеобразие. В растениях с отвалов содержание никеля в 2 раза, а хрома в 5 раз выше, чем в разрезе. Соответственно, значительно ниже содержание кобальта и титана (в 5 раз), свинца и молибдена (в 10—15 раз).

Однако при анализе химического состава растений важное значение имеет не только субстрат, на котором они произрастают, но и их видовая принадлежность (табл. 53). В сущности, каждый вид своеобразен по содержанию микроэлементов и реакции на свойства субстрата. Об этом свидетельствует среднее содержание микроэлементов по видам и разный уровень изменчивости этого показателя у разных видов (табл. 54). Среднее содержание микроэлементов по видам дает своего рода описательную модель химического состава вида. Представляет интерес сравнение среднего содержания микроэлементов по систематическим группам: злаки, бобовые и сложно-

Содержание микроэлементов ($\mu \cdot 10^{-3}$) в надземной массе

Элемент	0			I			II		
	\bar{x}	σ	v	\bar{x}	σ	v	\bar{x}	σ	v
Зольность, %	10,0	3,8	0,4	11,4	4,5	0,4	10,4	3,9	0,4
Ni	5	3	0,5	7	6	0,8	9	8	0,8
Co	14	14	1,0	27	33	1,2	36	43	1,2
Cr	9	4	0,4	9	5	0,6	9	4	0,4
Mn	95	77	0,8	75	48	0,6	86	57	0,7
V	5	2	0,4	7	3	0,4	7	3	0,4
Ti	251	112	0,4	324	754	2,3	352	148	0,4
P	807	259	0,3	708	253	0,4	768	267	0,3
Cu	13	7	0,5	11	4	0,4	11	9	0,8
Zn	16	11	0,7	19	13	0,7	18	14	0,8
Pb	23	22	0,9	24	24	1,0	24	22	0,9
Ag	30	34	1,1	24	30	1,2	21	30	1,4
Mo	14	14	1,0	13	17	1,3	14	24	1,7
Ba	55	28	0,5	46	42	0,9	38	15	0,4
Sr	26	13	0,5	20	12	0,6	26	11	0,4
Sn	72	72	1,0	39	55	1,4	30	34	1,1
Be	5	6	1,2	6	8	1,3	18	97	5,4
Zr	4	2	0,5	5	3	0,7	4	3	0,6
Ga	8	5	0,6	9	5	0,6	8	5	0,6

цветные. Злаки относительно двух других групп характеризуются низкой зольностью, заметно пониженным содержанием кобальта, титана, фосфора, бериллия и повышенным свинца, серебра, олова, циркония. Группа бобовых занимает по многим показателям промежуточное положение между злаками и сложноцветными, резко выделяясь по относительно высокому содержанию молибдена и низкому цинка, что легко объясняется их физиологическими особенностями. Сложноцветные имеют высокую зольность и большое содержание кобальта, титана, фосфора и бериллия.

Факторный анализ на основе корреляционной матрицы, вычисленной по содержанию микроэлементов в надземной массе растений, зафиксировал своеобразие химического состава растений разреза по сравнению с растениями отвалов Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений. Об этом свидетельствует изменение структуры факторных нагрузок, т. е. группировки микроэлементов по главным компонентам на основе содержания их в растениях разреза (табл. 55) по сравнению с растениями отвалов (см. табл. 45). Не вдаваясь в детали, в данном случае нам важно зафиксировать, что с изменением микроэлементного состава субстрата существенно изменяется химический состав надземной массы растений.

Ординация растительных сообществ разреза по химическому составу надземной массы растений проводилась методами дискриминантного и кластерного анализа (теория графов). В большинстве рас-

III			IV			Общее по разрезу			
\bar{x}	σ	v	\bar{x}	σ	v	min	max	\bar{x}	σ
12,6	5,9	0,5	14,0	7,0	0,5	10,4	41,1	11,2	4,9
22	16	0,7	7	2	0,3	1	70	9	9
113	86	0,8	28	16	0,6	0	500	35	52
9	8	0,9	8	3	0,3	1	71	9	5
100	65	0,6	79	31	0,4	0	700	84	63
8	5	0,6	7	3	0,4	0	31	7	3
341	189	0,6	376	138	0,4	0	999	326	164
639	294	0,5	696	281	0,4	50	999	725	286
12	4	0,3	12	4	0,3	3	99	12	6
31	18	0,6	19	13	0,7	0	99	19	15
15	10	0,7	28	16	0,6	1	502	23	29
13	21	1,6	12	15	1,2	0	99	23	30
10	13	1,4	15	13	0,9	0	99	13	18
39	19	0,5	56	43	0,8	0	510	46	34
19	8	0,4	8	4	0,5	0	90	22	17
26	28	1,1	98	43	0,4	0	702	46	61
16	71	4,4	7	5	0,6	0	997	9	45
3,5	2,7	0,8	5	2	0,4	0	50	5	3
7	5	0,7	11	7	0,6	0	30	9	5

тительных сообществ все виды, имеющие достаточную массу в структуре сообщества, были охарактеризованы по содержанию в надземной массе 19 микроэлементов. В результате получена первичная мат-

Таблица 52

**Уровни изменчивости
содержания микроэлементов
в субстрате и растениях
Коркинского угольного разреза**

Коэффициент вариации, %	Микроэлементы	
	в растениях	в субстрате
0—20	—	—
21—40	—	Ti, Ba, Sr, V, Pb
41—60	Cr, V, Ti, Cu, Ba, Sr, Ga	Ni, Co, Cu, Zn
61—80	Mn, Zn, Zr	Mn, Sn
81—100	—	—
> 100	Ni, Co, Pb, Ag, Mo, Sn, Be (495%)	Cr, Mo

**Среднее содержание микроэлементов (п · 10⁻³)
Коркинского угольного**

Вид	Зольность, %	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	P
								Злаки
Бескильница расставленная	7,4	16	20	10	79	12	500	429
Вейник наземный	11,0	7	12	10	102	7	276	433
Критезон гривастый	12,2	7	15	11	70	7	316	498
Мятлик луговой	7,3	6	6	9	55	6	213	588
Пырей ползучий	8,4	7	17	8	64	7	241	578
Тростник обыкновенный	8,3	9	28	7	117	7	208	455
								Бобовые
Астрагал борозчатый	5,9	4	5	12	70	7	200	1000
Горошек мышиный	11,3	6	25	9	63	9	463	650
Донник белый	10,8	7	44	5	53	6	262	654
Клевер луговой	9,6	7	16	7	59	8	373	800
Клевер ползучий	11,7	8	26	12	50	8	460	440
Люцерна серповидная	8,9	7	17	9	89	5	303	688
Люцерна хмелевая	11,5	6	17	7	58	9	432	655
								Сложноцветные
Астра солончаковая	9,6	15	47	7	73	6	273	927
Бодяк полевой	14,8	9	33	8	73	7	341	708
Горлюха ястребиноквая	11,9	7	16	10	71	7	323	758
Латук татарский	11,4	8	44	7	85	5	300	838
Латук дикий	8,4	6	27	8	109	7	334	900
Мать-и-мачеха	23,1	9	69	9	57	7	350	483
Мелколепестник канадский	10,2	6	35	11	103	8	396	842
Осот полевой	12,8	8	31	8	70	7	318	870
Одуванчик лекарственный	15,8	9	33	8	64	9	430	685
Группа злаков	9,8	8	16	9	82	7	282	494
Группа бобовых	10,4	7	24	8	62	7	363	679
Группа сложноцветных	13,7	9	39	8	76	7	342	763

Таблица 53

в надземной массе растений
разреза по видам, %

Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Ba	Sr	Sn	Be	Zr	Ga
12	24	57	31	7	57	20	40	11	7	14
10	18	25	20	10	35	15	54	6	7	8
10	16	22	39	8	34	15	40	6	7	8
11	16	30	57	16	43	16	34	4	6	9
12	21	31	41	7	39	15	48	4	6	9
11	26	20	19	13	28	42	84	3	7	6
12	0	25	16	60	50	25	15	2	3	5
11	10	29	15	31	48	28	37	11	7	10
11	4	15	21	62	38	24	47	3	3	7
13	8	19	18	53	41	22	41	8	5	8
10	8	27	13	43	52	17	28	14	6	14
13	6	22	16	37	50	30	58	8	4	7
10	7	23	23	37	50	24	20	9	5	11
9	20	18	30	9	31	22	29	70	3	6
13	24	18	21	7	40	24	39	7	5	9
11	17	18	21	6	40	34	51	10	4	10
11	19	20	16	8	33	21	27	28	4	5
12	40	23	30	14	41	24	91	4	4	9
9	9	14	5	7	32	22	22	6	4	6
15	31	67	9	8	59	20	28	12	5	10
12	16	15	20	12	45	19	30	4	4	6
10	15	18	18	7	48	22	15	8	5	9
11	19	28	33	10	37	19	50	5	7	9
11	7	22	18	46	45	24	38	8	5	9
11	20	21	18	9	40	23	35	16	4	8

рица размерностью 735 видов \times 19 признаков. Дискриминантный анализ позволил определить меры расстояния между центрами «тяжести» изученных сообществ (табл. 56), сравнить сообщества по 19 признакам. На их основе построена дендрограмма и граф сходства по минимуму расстояния между центрами сообществ по данным химического состава надземной массы большинства видов сообществ (рис. 36, 37). Структура этого графа несколько отличается от структуры графа сходства сообществ на основе корреляционной матрицы по флористическому составу с учетом обилия видов. Анализируя и сравнивая их, следует учесть, что по части сообществ нет данных микроэлементного состава надземной массы растений. Кроме того, большее сходство мы можем ожидать при сравнении с графом сходства по отсутствию (присутствию) видов. Тем не менее на графе сходства по химическому составу надземной массы растений четко выделяются по тесноте связи группы сообществ на благоприятном и засоленном субстрате (рис. 38, 39). Иными словами, можно заключить, что существует довольно тесная связь химического состава надземной массы с определенным субстратом. С одной стороны, она опосредована через видовой состав сообщества, с другой — зависимостью химсостава видов от свойств и химического состава субстрата. Об этом свидетельствуют результаты дискриминантного анализа видов по химическому составу и зольности (19 признаков) (рис. 40). Для анализа были выбраны виды с классом постоянства не ниже V, которые отмечены не менее чем в 50% описанных сообществ, и имеющие в нескольких сообществах высокий балл обилия (выше sp). Эти виды составляют основную массу растительного покрова разреза. Кроме того, выбраны 7 видов бобовых, которые имеют меньший класс постоянства, так как описаны только в сообществах на верхних уступах разреза не ниже 30 м и балл обилия их низок. Лишь чина луговая в одном и донник белый в двух сообществах имеют обилие сор₂—сор₃ и выступают в качестве содоминантов.

При анализе группы наиболее значимых видов (без бобовых) основным дискриминирующим признаком оказалась зольность, вторым — содержание фосфора. Проведено сравнение химического состава систематических групп (сложноцветные, злаки, бобовые), таким образом, дискриминантному анализу подвергнуто примерно одинаковое количество видов определенной систематической группы. При сравнении пары злаки—бобовые дискриминирующим признаком оказалось содержание молибдена при положительном значении у бобовых и отрицательном у злаков. Подразделение групп бобовые — сложноцветные происходит по двум дискриминирующим признакам, а именно зольность и содержание молибдена. Эти признаки имеют примерно одинаковый вес. Дискриминантный анализ группы значимых видов, включающих сложноцветные и злаки, показал четкое различие этих групп. Основным дис-

**Уровни изменчивости содержания микроэлементов в надземной массе растений
Коркинского угольного разреза по видам**

Вид	Коэффициент вариации, %					
	0—20	21—40	41—60	61—80	81—100	>100
		Злаки				
Бескильница расставлен- ная <i>Puccinellia distans</i>	—	N, P, Cu, Ba, Ga	Mn, Ti, Zn	Cr, Sr	Co, Mo, Be, Ni	Pb, Ag, Sn
Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i>	—	Cu, Ba, Zr	Cr, V, Ti, P, Ga, Zn	Ni, Mn, Pb, Mo, Sr	Sn	Co, Ag, Be
Критезон гривастый <i>Hordeum brachyanterum</i>	—	Cr, Mn, V, Cu, Zr	Ti, P, Zn, Pb, Ba, Sr, Ca	Ni, Mo	Ag, Be	Co, Sn
Мятлик луговой <i>Poa pratensis</i>	Zr	Cr, Mn, V, Ti, P, Cu, Ba	Ni, Zn, Pb, Ga	Ag	Co, Sn	Mo, Sr, Be
Пырей ползучий <i>Elytrigia repens</i>	—	Cr, Mn, P, Ba	V, Ti, Mo, Sr, Zr, Ga	Ni, Zn, Pb	Cu, Ag	Co, Sn, Be
Тростник обыкновенный <i>Phragmites australis</i>	—	V, Cu, Ba	Ti, Zr, Ga, Pb	Cr, P, Zn, Sr, Sn	Mn	Ni, Co, Ag, Mo, Be
		Бобовые				
Астрагал бороздчатый <i>Astragalus sulcatus</i>	—	Ni, Cr, Cu, Pb, Mo, Ga	Sn	—	Zr	Sr, Ag, Co, Be
Горошек мышиный <i>Vicia cracca</i>	—	Cr, V, Ti, Cu	Ni, Co, P, Ba, Ga	Mn, Pb, Ag, Mo, Sr, Be	Zr	Zn, Sn
Донник белый <i>Melilotus albus</i>	—	Cr, Mn, V, Cu, Ba	Ti, P, Pb, Mo	Sr, Zr, Ga	Ni, Sn	Be, Zn, Co, Ag
Клевер луговой <i>Trifolium pratense</i>	V	Ni, Mn, Ti, P, Cu, Ba	Cr, Zr	Pb, Mo, Ga	Co, Sr, Be	Sn, Ag, Zn
Клевер ползучий <i>Trifolium repens</i>	Pb	Ni, Mn, V, Ti, P, Cu, Ga	Cr, Ba, Sr, Be, Zr	Mo	Co, Ag	Sn, Zn
Люцерна серповидная <i>Medicago falcata</i>	Cu	Ni, P, Ba	Cr, V, Ti	Mn, Zr, Ga	Pb, Mo, Sr	Be, Sn, Ag, Zn, Co
Люцерна хмелевая <i>Medicago lupulina</i>	Cu	Co, Ba, Ga	Ni, Cr, Mn, V, Ti, P, Sr	Mo, Zr	Be, Zn	Pb, Ag, Sn

Вид	Коэффициент вариации, %					
	0—20	21—40	41—60	61—80	81—100	>100
Астра солончаковая <i>Aster amelloides</i>	P	Сложноцветные Cr, V, Ti Cu, Zn, Ba	Mn, Sr	Mo, Zr	Pb, Ga	Ag, Sn, Be, Ni, Co
Бодяк полевой <i>Cirsium arvense</i>	—	P, Cu, Ba	Cr, Mn, V, Ti, Pb, MnZn.Ga	Zn	Ni, Sr, Sn, Be	Co, Ag
Горлюха ястребинковая <i>Picris hieracioides</i>	Cu	V, Ti, P, Zn, Ba, Sr, Ga	Ni, Co, Cr, Mn, Zr	Pb, Mo	—	Ag, Sn, Be
Латук татарский <i>Lactuca tatarica</i>	—	P, Ba	Cr, V, Ti, Sr, Zr	Mn, Cu, Zn, Mo	Ni, Ga	Co, Pb, Ag, Sn, Be
Латук дикий <i>Lactuca serriola</i>	P	Cr, Ti, Cu, Ba	Ni, Mn, V, Zn, Pb, Zr, Ga	Co, Mo, Sn, Be	Sr, Ag	—
Мать-и-мачеха <i>Tissilago farfara</i>	—	V, Ti, Cu, Ba	Mn, P, Zr	Zn, Sr, Ga	—	Ni, Co, Cr, Pb, Ag, Mo, Sn, Be, Pb, Be
Мелколепестник канад- ский <i>Erigeron canadensis</i>	—	Cr, V, Ti, P	Ni, Mn, Cu, Zn, Mo, Ba, Zr	Sr, Ga, Co	Ag, Sn	
Осот полевой <i>Sonchus arvensis</i>	Cr, P	V, Cu, Ba	Mn, Ti, Zn, Pb, Zr	Sr, Be	Ga, Mo, Ni	Co, Ag, Sn
Одуванчик лекарствен- ный <i>Tagaxasum officinale</i>	—	Cr, V, Ti, P, Cu, Ba	Mn, Zn, Be, Zr	Co, Mo, Sr, Ga	—	Ni, Pb, Ag, Sn
Группа злаков	—	Cr, V, Ba, Zr, Ga	Ti, P, Cu, Zn	Mn, Sr	Ni, Pb, Ag, Sn	Co, Mo, Be
Группа бобовых	—	Cr, V, P, Cu, Ba	Ni, Mn, Ti, Ga	Pb, Mo, Zr	Sr, Be	Sn, Ag, Zn, Co
Группа сложноцветных	—	V, Ti, P, Ba	Mn, Cu, Zn, Zr	Cr, Sr, Ga	Mo	Ni, Co, Pb, Ag, Sn, Be

криминирующим признаком, четко выделившим группу видов из семейства сложноцветных, явилась зольность, вторым, сильно отличным от первого по значимости — содержание фосфора.

Следовательно, на фоне сильного варьирования содержания микроэлементов в надземной массе растительных сообществ разреза четко выделяются систематические группы, имеющие каждая

Таблица 55

**Факторные нагрузки микроэлементов по главным компонентам
на основе содержания их в растениях
Коркинского угольного разреза**

Эле- мент	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
V	0,82	0*	0	0	0	0
Ti	0,80	0	0	0	0	0
Ga	0,64	0	0,52	0	0	0
Cr	0,51	0	0	0	0	0
Co	0	0,85	0	0	0	0
Ni	0	0,84	0	0	0	0
Cu	0	0	0,67	0	0	0
Sr	0,29	0	0,62	0,32	-0,26	0
Pb	0	0	0,54	0	0	0
Sn	0	0	0	0,67	0,36	0
Zr	0,50	0	0	0	0,52	0
Mo	0	0	0	0	0	0,81
Zn	0	0,40	0,38	0	0	-0,56
Be	0	0	0	0	-0,27	-0,36
Mn	-0,28	0,48	0	0,29	0	0
Ba	0	0	0,43	0	0	0
P	-0,34	0	0	0,47	-0,44	0
Ag	0	-0,32	0,32	0	-0,27	-0,30

* Факторная нагрузка < 0,25.

свою специфику: бобовые — по содержанию молибдена, сложноцветные — по высокой зольности, злаки — по малой зольности.

Подводя итог сказанному, следует признать, что при своеобразном элементном составе, особенно на отвалах рудных месторождений, связь химсостава растений с субстратом до определенного предела почти функциональная.

На отвалах с более сбалансированным элементным составом, более близким к почвенному, наблюдается корреляционная связь. Механизм ее проявляется в большей степени через специфику видового состава — здесь имеет место не причинная, а взаимная зависимость. Своеобразие субстрата, например, при сильном засолении, является определяющим для поселения специфических видов растений галофитного типа. Растительность влияет на субстрат, обогащая верхний слой азотом, углеродом, калием. Изменения, происходящие в субстратах техногенных образований под воздействием растительности и процессов выветривания на начальных этапах почвообразования, и мера этих изменений подробно показаны в работах Г. И. Махониной. В свою очередь, своеобразный химический состав растений, повышенное содержание определенных микроэлементов создают своеобразие в круговороте веществ. Так как элементарный

Меры расстояния ($D^2 \cdot 10^{-1}$) — верхняя матрица
нижняя матрица) между фитоценозами
по данным химического состава

№ фитоце- ноза	1	2	3	4	6	7	8	9	10	14	18	19	20
1		39	47	34	144	97	68	83	27	38	39	44	49
2	19		55	30	171	79	69	117	69	64	34	81	63
3	6	5		82	172	90	28	51	30	21	45	42	49
4	0	8	0		121	82	49	93	58	52	67	164	136
6	0	5	0	17		43	28	82	140	94	100	157	131
7	0	7	0	11	17		94	46	71	25	87	51	45
8	8	11	12	0	0	7		38	45	51	68	157	118
9	0	0	0	20	18	5	0		62	17	83	95	97
10	16	0	5	0	0	0	12	7		44	86	27	20
14	0	0	5	10	8	7	0	18	13		55	115	91
18	14	25	0	11	8	16	0	9	0	9		154	135
19	0	0	0	7	0	0	0	0	6	0	0		26
20	6	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	13	
21	10	0	0	5	0	7	0	0	7	7	11	13	19
23	0	0	10	0	0	0	7	9	8	6	16	0	9
24	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
25	8	6	27	0	0	0	16	8	16	10	0	0	0
26	0	0	10	5	0	0	21	5	17	8	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
28	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	5	5
29	23	6	23	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
30	11	0	0	0	0	0	9	0	5	0	0	0	0
31	0	6	20	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0
32	9	7	0	0	0	0	11	0	18	0	0	0	0
33	17	7	0	0	0	6	10	0	17	0	13	7	8
34	0	5	5	0	0	8	15	0	0	0	10	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
37	9	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0

и коэффициенты сходства (>5% —
Коркинского угольного разреза
надземной массы растений

Таблица 56

21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36	37
38	76	118	30	70	47	105	39	54	84	39	38	86	61	67
43	57	124	35	90	58	206	88	83	57	79	71	86	119	111
56	23	59	16	24	161	212	97	59	74	75	82	84	118	56
101	108	227	47	113	142	124	150	97	136	92	77	113	187	190
136	110	230	165	110	231	331	210	133	213	154	141	154	206	214
26	50	147	78	73	38	193	78	66	203	85	62	75	59	68
137	49	111	54	10	278	237	98	79	87	85	71	78	250	205
104	84	177	32	35	164	173	108	105	133	76	67	107	141	130
35	27	48	22	38	107	73	76	79	107	94	72	79	88	63
91	73	120	52	41	224	93	83	72	105	77	76	73	134	124
108	68	196	42	89	108	286	86	87	86	88	78	87	230	200
21	78	93	63	113	61	26	51	71	172	38	40	111	44	55
20	50	89	55	97	60	31	47	35	136	23	25	75	55	73
	43	94	44	113	80	38	72	62	147	46	29	108	39	63
0		146	26	60	172	115	56	37	77	28	34	62	115	160
0	0		64	172	100	97	67	100	125	74	81	101	140	105
5	5	9		15	169	221	4	24	125	3	14	16	90	61
0	11	0	10		204	94	111	56	98	93	172	59	191	188
6	0	0	0	0		24	191	127	253	135	102	214	92	101
0	0	8	0	0	17		137	101	371	93	57	162	41	63
0	0	0	14	7	0	0		63	40	28	25	22	121	124
0	0	0	7	9	0	0	7		110	60	46	21	133	155
0	9	0	0	0	0	0	9	7		59	111	58	257	204
6	13	6	13	0	0	0	16	0	9		29	25	79	87
14	0	0	0	6	0	0	0	0	0	13		58	63	90
0	0	7	0	15	0	0	21	11	17	0	10		171	208
0	0	7	0	0	17	0	7	0	0	0	0	0		13
9	0	0	0	0	0	0	5	0	7	6	0	0	31	

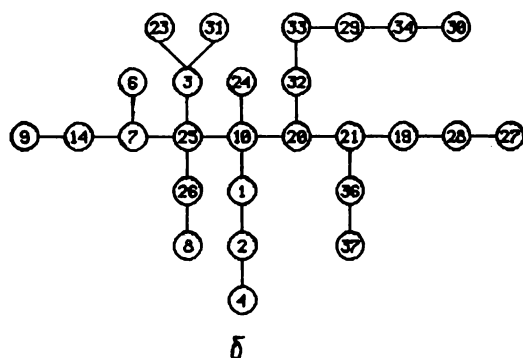
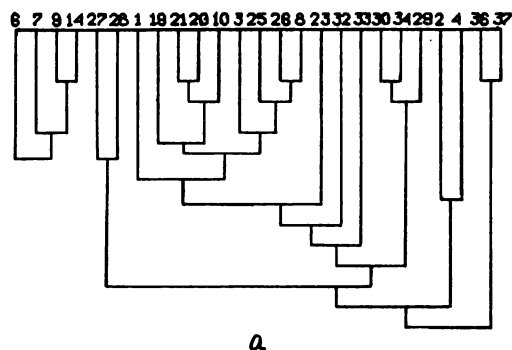


Рис.36. Дендрограмма (а) и граф сходства (б) сообществ Коркинского угольного разреза по химическому составу растений в метрике расстояния D^2 -Махаланобиса. Цифрами обозначены номера фитоценозов (участков), охарактеризованных в табл. 30—32 (здесь и далее на рис. 37—39)

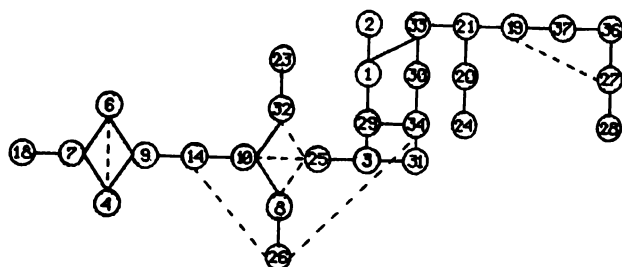


Рис. 37. Циклический граф сходства сообществ Коркинского угольного разреза по химическому составу растений в метрике расстояния D^2 -Махаланобиса

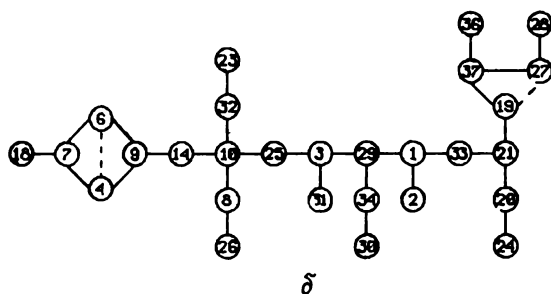
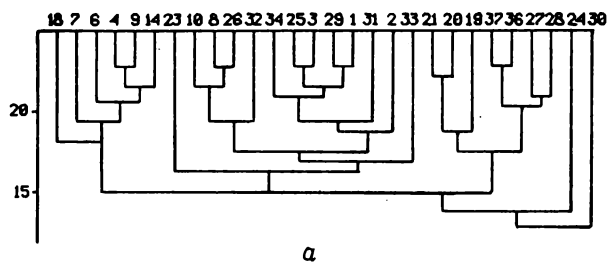


Рис. 38. Дендрограмма (а) и граф сходства (б) между сообществами Коркинского угольного разреза по химическому составу растений на основе функции сходства (Елькин, Ищенко, 1979)

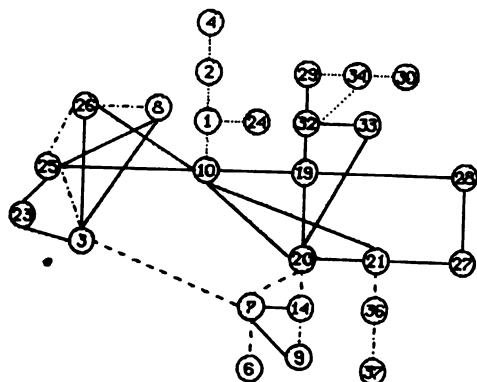


Рис. 39. Циклический граф сходства между сообществами Коркинского угольного разреза по химическому составу растений на основе функции сходства

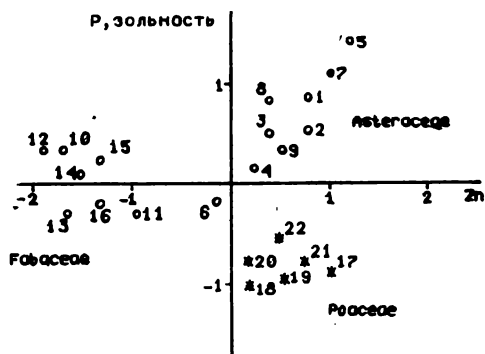


Рис. 40. Взаиморасположение видов из сообществ Коржинского угольного разреза в новых канонических осях на основе химического состава надземной массы:

Asteraceae: 1 — *Aster amelloides*; 2 — *Cirsium arvense*; 3 — *Picris hieracioides*; 4 — *Lactuca tatarica*; 5 — *L. serriola*; 6 — *Tussilago farfara*; 7 — *Erigeron canadensis*; 8 — *Sonchus arvensis*; 9 — *Taraxacum officinale*; Fabaceae: 10 — *Astragalus sulcatus*; 11 — *Vicia cracca*; 12 — *Melilotus albus*; 13 — *Trifolium pratense*; 14 — *T. repens*; 15 — *Medicago falcata*; 16 — *M. lupulina*; Poaceae: 17 — *Puccinellia distans*; 18 — *Calamagrostis epigeios*; 19 — *Hordeum brachyantherum*; 20 — *Poa pratensis*; 21 — *Elytrigia repens*; 22 — *Phragmites australis*

состав субстратов техногенных образований отличается от почвы и материнской породы, в круговорот вовлекается поток веществ, аккумулярованных в древних геологических слоях.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ УРАЛА

Площади нарушенных земель на Урале велики, типы нарушений чрезвычайно разнообразны и включают отвалы как добывающей, так и перерабатывающей промышленности. Научно-исследовательские работы по изучению экологических условий разных типов отвалов и разработке способов их биологической рекультивации ведутся в этом регионе с конца 50-х годов. Разработаны способы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций (Колесников и др., 1970; Левит и др., 1978; Озеленение золоотвалов тепловых электростанций Урала, 1964; Пасынкова, 1971, 1974; Пикалова, 1975а; Пикалова и др., 1979; Тарчевский, 1964в, 1966 а, б; Тарчевский и др., 1962, 1970). Довольно подробно изучались отвалы горнодобывающей промышленности, образованные при добыче угля, железной руды, руд цветных металлов, формовочных песков, огнеупорных глин и других видов полезных ископаемых (Лебедева, 1984; Левит и др., 1978; Левит, Пикалова, 1975, 1976; Пасынкова, 1976; Терехова и др., 1974 а, б, 1975; Чибрик, 1979 а, б; Чибрик, Красавин, 1981, 1983). Для отдельных месторождений с учетом конкретных экологических и социально-экономических условий разработаны рекомендации по их биологической рекультивации. Исследовательские работы проводились и на отвалах перерабатывающей промышленности, таких, как шламохранилища алюминиевых заводов и других предприятий цветной металлургии, которые требуют коренной мелиорации субстрата (Шилова, 1965, 1966; Шилова и др., 1978; Шилова, Логинова, 1974). В результате проведения биологической рекультивации обнадеживающие положительные результаты получены лишь при изоляции корневых систем растений от субстрата путем нанесения достаточно мощного слоя пригодных для выращивания растений пород или почвы. Всего на Урале к настоящему времени обследовано около 35 тыс. га нарушенных промышленностью земель и примерно 2 тыс. га рекультивировано с учетом разработанных рекомендаций.

В последние годы основное внимание уделялось разработке способов биологической рекультивации глубоких карьеров (на примере Коркинского угольного разреза) и шламохранилищ, образо-

ванных отходами обогащения железных руд. Эти объекты недостаточно изучены и трудны для восстановления. Для шламохранилищ разработаны и испытаны в производственных условиях оригинальные способы их рекультивации (Левит, 1982; Левит, Пикалова, 1984; Чибрик, Левит, 1988).

Обширный фактический материал по биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель на Урале позволил сделать теоретические обобщения (Колесников, 1974 а, б; Колесников и др., 1973, 1976; Колесников, Пикалова, 1970, 1973, 1974; Пикалова, 1975 а; Тарчевский, 1964 а, 1967, 1970 а, б).

Нам представляется важным обратить внимание на некоторые из них. Было разработано два варианта классификации промышленных отвалов — сначала В. В. Тарчевским (1964 а, 1967, 1970 а), позднее Б. П. Колесниковым (Колесников, Пикалова, 1973, 1974). Принципиальное значение имеет обоснование выделения в системе ботанических наук новой отрасли ботанических знаний — промышленной ботаники (Тарчевский, 1970 б). Б. П. Колесников (1974 а) предложил все типы ландшафтов географической оболочки Земли на современном этапе ее эволюции делить «не на две противопоставляемые крупные категории, как это принято в ландшафтоведении — естественные (природные) и антропогенные, а на три:

естественные (природные), подчиняющиеся общим закономерностям развития природы;

культурные (упорядоченные, оптимизированные), состояние и будущее которых постоянно контролируется;

техногенные (аккультурные) — стихийно сопутствующие техногенезу, неупорядоченные и неудобные для жизни». В работе поясняется термин «техногенные ландшафты».

В этой же работе дано уточнение термина «рекультивация». «Рекультивация земель, нарушенных промышленностью (промышленных аккультурных ландшафтов), складывается из комплекса горнотехнических, инженерных, мелиоративных и биологических мероприятий, имеющих целью создание и ускоренное формирование на площадях, испытавших катастрофические техногенные воздействия и освобождаемых после промышленных разработок, оптимальных культурных ландшафтов с продуктивным почвенно-растительным (биогеоценоотическим) покровом. Характер, хозяйственное и социальное значение рекультивированных ландшафтов определяются задачами оптимизации окружающей среды, требованиями территориального плана районной планировки и народнохозяйственных планов». Заключительная часть этого определения указывала место рекультивации в системе народнохозяйственных мероприятий по упорядочению аккультурных ландшафтов.

В данной главе на примере отвалов угольных месторождений Урала сделана попытка показать место фитоценозов, возникших

в процессе самозарастания и при биологической рекультивации, в общей структуре растительного покрова региона.

На угольных месторождениях Урала добыча ведется открытым и подземным, шахтным способом. Для месторождений с открытыми разработками характерен крупнокарьерно-отвалный вид техногенных ландшафтов (Моторина, Овчинникова, 1975) либо только с внешними (Коркинский разрез ПО «Челябинскуголь»), либо с внешними и внутренними отвалами (разработки Карпинско-Волчанского буроугольного бассейна, Батуринский разрез ПО «Челябинскуголь», разрезы ПО «Башкируголь» и др.). Характерной особенностью этого вида техногенного ландшафта является наличие глубоких карьеров (от 100 до 500 м) площадью до нескольких сотен га, платообразные или гребневидно-платообразные внешние и внутренние отвалы площадью от сотен до нескольких тысяч га. На угольных разрезах Урала преобладают по площади платообразные внешние отвалы железнодорожного и автомобильного типа складирования. В структуре нарушенных земель значительные площади заняты разрезами (карьерами) и гидроотвалами углеобогащительных фабрик и установок.

Для предприятий, ведущих добычу угля подземным способом, характерен шахтный просадочно-террикониковый вид техногенного ландшафта. Основными типами нарушенных земель являются конические терриконы, провалы, просадки, территории промплощадок шахт. Лишь в последние годы в целях борьбы с самовозгоранием терриконов на ряде предприятий Кизеловского угольного бассейна и Буланашского месторождения формируются плоские породные отвалы. Последние не требуют переформирования, их экологические условия более приемлемы для биологической рекультивации, но при одинаковом объеме пород они занимают значительно большую площадь, чем терриконы.

Исследования, связанные с проблемой биологической рекультивации, на угольных месторождениях Урала ведутся с середины 60-х годов. Имеются сведения по свойствам вскрышных и вмещающих пород отдельных месторождений и их классификации по пригодности для биологической рекультивации (Денисов, Савич, 1972; Чибрик, Красавин, 1983; и др.). Накопилось достаточно данных по характеристике отвалов, что дает возможность определять степень пригодности продуктов выветривания для поселения растений и биологической рекультивации (Колесников и др., 1976; Махонина, Чибрик, 1974 а, б, 1978 а, б; Чибрик, Красавин, 1981; и др.). Эти данные при знании преобладающего породного состава отвалов помогают уточнить группу пригодности пород для биологической рекультивации.

Несмотря на разнообразие свойств пород, слагающих отвалы на этих месторождениях, можно выделить и некоторые общие черты. К непригодным для биологической рекультивации по химическим

свойствам относятся сильнокислые сульфидсодержащие и сильно-засоленные породы. Тип засоления — хлоридно-сульфатный при избыточном содержании катионов кальция и магния. Непригодность пород по физическим свойствам определяется их сильной каменистостью. К таким породам относятся довольно распространенные на месторождениях мраморизированные известняки, сланцы, конгломераты и др.

В качестве примера, иллюстрирующего возможное место фитоценозов, сформировавшихся на нарушенных при добыче угля землях, в структуре растительного покрова региона взяты Кизеловский бассейн и Серовский угленосный район (отвалы Веселовского и Богословского месторождений). Характеристики вскрышных и вмещающих пород, слагающих отвалы, по пригодности для биологической рекультивации сильно различаются (Махонина, Чибрик, 1978 а, б). В первом случае отвалы сложены непригодными для этих целей по физическим и химическим свойствам породами, так как преобладают скальные породы высокой прочности, продукты выветривания которых имеют сильнокислую реакцию среды (рН до 2,5), во втором — преимущественно малопригодными, где не исключается попадание в грунты смеси потенциально плодородных пород, а на отдельных предприятиях — даже торфа. Остальные угольные месторождения Урала занимают в этом отношении промежуточное положение: разное соотношение групп пригодности, разнообразие их характеристики.

Меры улучшения свойств пород и мероприятия биологического этапа рекультивации и направления использования рекультивированных территорий на рассмотренных отвалах принципиально отличаются, хотя расположены они в сходных зонально-климатических условиях с достаточным увлажнением.

Отвалы Кизеловского угольного бассейна

Характерной особенностью породных отвалов (террикоников и плоских) бассейна является сильная каменистость и очень кислая реакция среды. Исходя из этих показателей, согласно ГОСТ 17.5.1.03—86, породы, слагающие эти отвалы, должны быть отнесены к непригодным для биологической рекультивации как по физическим, так и по химическим свойствам. Лишь очень старые отвалы возрастом более 40—50 лет при сильной каменистости в поверхностном слое имеют более благоприятную реакцию среды (кислую, слабокислую и близкую к нейтральной). На существующих отвалах повсеместно наблюдается самовозгорание пород.

Резерв плодородного слоя почвы на всех предприятиях отсутствует, а потенциально плодородных и даже малопригодных пород, бедных элементами питания, очень мало. Породные отвалы оказывают сильное отрицательное воздействие на окружающие террито-

рии, загрязняя их за счет образования стоков сильноокислых вод, что приводит местами к полному уничтожению почвенного и растительного покровов. Площади и степень их воздействий различны и определяются местоположением и формой отвалов. Особенно они возрастают при расположении отвалов на естественных возвышениях, а при неровном рельефе местности в бассейне это случается довольно часто.

Острая необходимость рекультивации обуславливается требованиями улучшения санитарно-гигиенических условий и охраны окружающей среды. С учетом реальных возможностей предприятий нами разработана блок-схема биологической рекультивации плоских отвалов Кизеловского бассейна (рис. 41). При биологической рекультивации террикоников их необходимо переформировать в плоские отвалы. Коническую форму можно оставить отвалам возрастом свыше 50 лет, имеющим нейтральную реакцию среды. При разработке блок-схемы учтены указания по рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности (Временные методические указания..., 1980).

Мероприятия технического этапа рекультивации на этих отвалах связаны с изоляцией и перекрытием непригодных для биологической рекультивации пород. Первоначально проводится переформирование террикоников или планировка поверхности плоских отвалов. Для нейтрализации фитотоксичных пород необходимо перекрытие вновь сформированной поверхности слоем нейтральной тяжелой глины, ее тщательное уплотнение. Это создает водоупорный слой, а также способствует предохранению нижележащих пород от самовозгорания. Создание изоляционного слоя можно заменить известкованием сформированной поверхности на глубину 0,5—0,8 м с последующим тщательным уплотнением. Дозировка извести рассчитывается в зависимости от кислотности пород.

Следующим мероприятием является нанесение на созданный водоупор слоя потенциально плодородных, а при отсутствии их — нетоксичных, малопригодных и малоплодородных пород. Мощность наносимого слоя будет зависеть от способа биологической рекультивации: под лесопосадки 1,0—1,5 м, под многолетние травы 0,4 м. При отсутствии достаточного количества пригодных для перекрытия пород возможно уменьшение мощности рекультивационного слоя до 0,7 м под посадки деревьев и кустарников санитарно-озеленительного типа, если предварительно проводится глубокое известкование поверхностного слоя.

После переформирования отвалов или при сохранении существующей формы на техническом этапе рекультивации необходимо создание вокруг отвалов направленного стока кислых шахтных вод, что способствует максимальному исключению их отрицательного воздействия на окружающие территории.

При отсутствии или дефиците пригодных пород возможно умень-

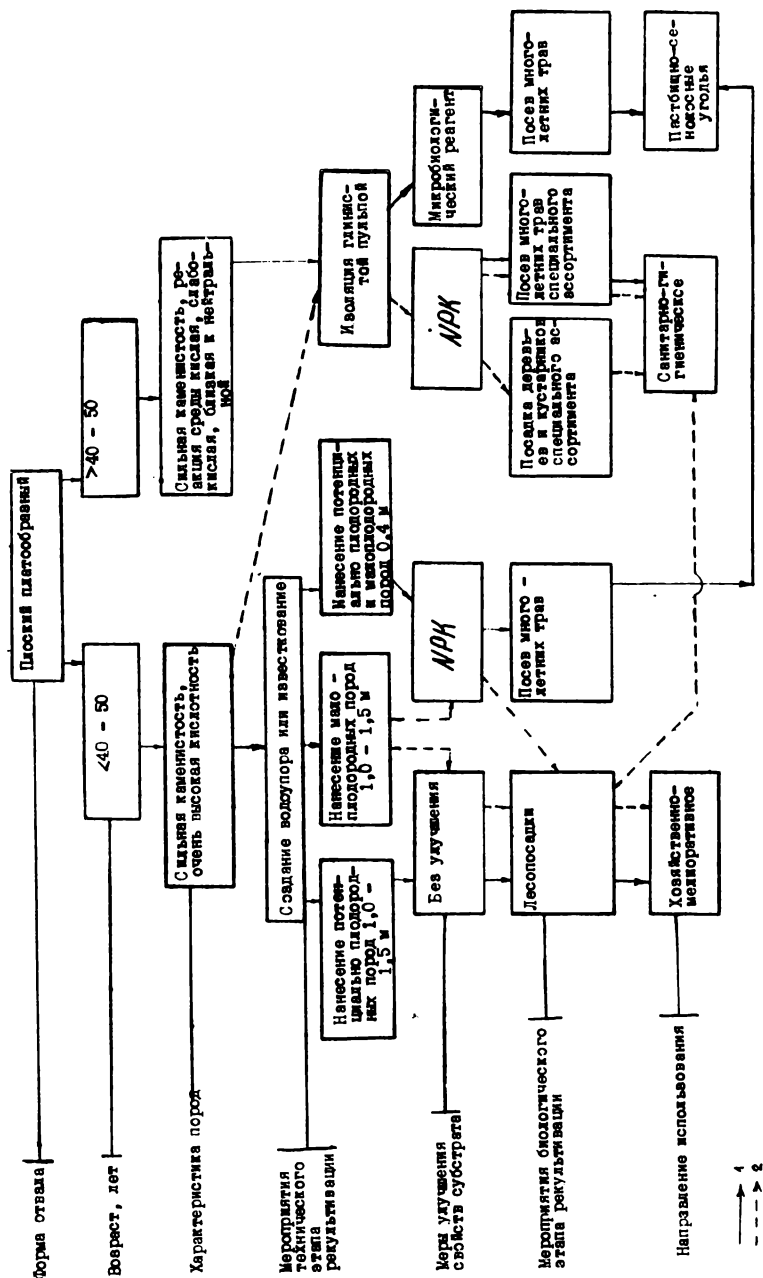


Рис. 41. Блок-схема биологической рекультивации отвалов Кизеловского угольного бассейна:

шение фитотоксичности поверхности старых отвалов не только плоской, но и конической формы путем заиливания глинистой пульпой. Этот прием широко используется при тушении самовозгорающихся отходов, технология его отработана.

Техническая подготовка поверхности делает биологическую рекультивацию возможной, но не ликвидирует все неблагоприятные свойства отвалов как специфических экотопов. Преодоление или сведение к минимуму неблагоприятных экологических условий возможно в двух направлениях: за счет улучшения всеми доступными способами свойств субстрата (водно-физических, агрохимических и др.) и подбора подходящего для этих условий ассортимента видов.

Меры улучшения свойств субстрата обычно сводятся к внесению комплекса минеральных и органических удобрений. Под многолетние травы рекомендуется внесение минеральных удобрений из расчета азота 90 кг, фосфора 60 кг, калия 60 кг действующего начала на га при посеве и ежегодные подкормки. Под лесопосадки с хозяйственно-мелиоративным использованием целесообразно одноразовое внесение азота 3 ц/га, фосфора и калия по 2 ц/га (действующего начала). В качестве сидерата рекомендуется посев донника в междурядья. При создании насаждений санитарно-гигиенического назначения дозу удобрений можно уменьшить вдвое.

Институтом ВНИИОСуголь МУП СССР (г. Пермь) разработан ускоренный способ рекультивации отвалов с применением микробиологического реагента (см. рис. 41), который опробован на отвалах Кизеловского бассейна и показал хорошие результаты (Красавин и др., 1985; Хорошавин и др., 1983).

Мероприятия биологического этапа рекультивации — посев многолетних трав и посадка деревьев и кустарников. При этом важен подбор ассортимента устойчивых к повышенной кислотности субстрата и загазованности (из-за самовозгорания пород) видов, особенно если рекультивация проводится без перекрытия поверхности отвалов пригодными породами (вариант с глинистым заиливанием). При лесопосадках основными породами должны быть сосна обыкновенная (при отсутствии загазованности), лиственница, береза бородавчатая и пушистая, ольха, ива козья, осина и др. Из многолетних трав можно рекомендовать кострец безостый, овсяницу красную, донники белый и желтый. Ассортимент многолетних трав может быть расширен при дополнительных испытаниях районированных сортов. Рекомендуется двойная норма высева семян.

Направления использования определяются комплексом мероприятий технического и биологического этапов рекультивации (см. рис. 41). В любом случае биологическая рекультивация нейтрализует отрицательное воздействие отвалов на окружающую среду и способствует ее оздоровлению или позволяет вернуть отвальным площадям их хозяйственную ценность.

Вопрос о рекультивации отвалов в бассейне серьезно встал в 1968—1970 гг. в связи с доработкой Богословского и Веселовского месторождений. К этому времени имелись инструктивные указания по рекультивации, где среди прочих условий предусматривалось обязательное покрытие поверхности рекультивированных отвалов почвой. Поэтому при проведении рекультивационных работ в бассейне основная проблема заключалась в том, что на значительных площадях отвалов (около 2 тыс. га на Богословском и 505 га на Веселовском месторождениях) почва для их покрытия совершенно отсутствовала. Необходимо было изыскать возможность рекультивации без почвенного покрытия.

Агрохимическое обследование показало, что грунтосмеси отвалов — сильнокаменистые, с преобладанием рыхлых пород, слабокислые, бедны азотом, подвижными формами фосфора, достаточно обеспечены обменным калием, не засолены. Содержание углерода невелико.

Наиболее часто на промышленных отвалах фитотоксичность грунтосмесей обуславливается их высокой кислотностью или засоленностью. Грунтосмеси обследованных отвалов можно охарактеризовать как нетоксичные, но малопригодные для биологической рекультивации из-за бедности подвижными формами основных элементов питания для растений и сильной каменистости.

В то же время в окрестностях г. Карпинска под сельскохозяйственные угодья (посев многолетних трав и овса) осваивались почвы на месте вырубки леса и раскорчевки пней. Полученные таким образом земельные участки отличались низким плодородием, сильной каменистостью, высокой кислотностью и малым содержанием гумуса в почве. Сопоставление агрохимических характеристик этих почв и грунтосмесей подлежащих рекультивации отвалов показывало их сходство. Необходима была экспериментальная проверка степени пригодности грунтосмесей отвалов для биологической рекультивации. С этой целью сотрудниками лаборатории промышленной ботаники Уральского университета на отвалах Богословского месторождения были проведены опытные посевы многолетних трав, которые показали принципиальную возможность биологической рекультивации этих отвалов без почвенного покрытия (Плошко, Чибрик, 1974).

Рекультивация отвалов, особенно биологическими методами, требует строгого индивидуального подхода с учетом конкретных экологических условий. С этой целью было проведено геоботаническое и агрохимическое обследование отвалов бассейна, результаты которого явились основой для составления институтом «Уральгипрошахт» проекта по рекультивации отвалов. Все площади отвалов были подразделены на группы:

1) не требующие биологической рекультивации, на поверхности которых сформировались устойчивые лесные фитоценозы;

2) требующие частичного хозяйственного вмешательства в виде посадки саженцев сосны (2—3 тыс. на 1 га);

3) подлежащие биологической рекультивации без дополнительного перекрытия их поверхности почвой или другими пригодными для растений породами.

В 1971—1975 гг. в соответствии с проектом проведена биологическая рекультивация отвалов Веселовского и части отвалов Богословского месторождений (всего 1328 га). Выделение из общей площади отвалов, отнесенных к первой группе, позволило существенно снизить проектную стоимость рекультивации.

Таким образом, на рекультивированных площадях отвалов вводу их в хозяйственный оборот предшествовали следующие мероприятия (табл. 57.).

1. Естественное восстановление лесных фитоценозов без вмешательства человека.

2. Лесная рекультивация — посадки саженцев сосны без предварительной планировки поверхности отвалов и посадки саженцев сосны после грубой планировки бульдозером поверхности отвалов с сильно бугристым рельефом.

3. Сельскохозяйственная рекультивация — планировка поверхности, посев овса, тимофеевки луговой, кострца безостого с применением комплекса минеральных удобрений.

4. Самозарастание спланированной бульдозерами поверхности.

5. Использование спланированной бульдозерами территории отвалов для строительных нужд, в частности, для устройства аэродрома.

С учетом имеющегося опыта биологической рекультивации отвалов в Карпинско-Волчанском бассейне и имея в виду большой резерв площадей, подлежащих рекультивации, составлена обобщенная блок-схема рекультивационных мероприятий на отвалах (рис. 42). Сравнение ее с таковой для отвалов Кизеловского угольного бассейна показывает, что более благоприятные для растений свойства пород позволяют упростить мероприятия технического этапа, которые сводятся к полной или частичной планировке поверхности отвалов. Создание продуктивных лесных угодий возможно без улучшения свойств субстрата. Использование комплекса органических и минеральных удобрений дает возможность создать продуктивные сельхозугодья. Перспективным представляется применение на этих отвалах ускоренного способа рекультивации с применением активных штаммов микроорганизмов по технологии, разработанной институтом ВНИИОСуголь. При целевой разработке соответствующих рекомендаций отвалы могут быть использованы для создания коллективных садов и огородов.

Таким образом, рекультивация отвалов в Кизеловском бассей-

Характеристика отвалов Карпинско-Волчанского буроугольного бассейна

Отвалы	Время окончания отсыпки, лет	Высота насыпи, м	Угол склонов, град	Преобладающие на поверхности породы	Состояние поверхности	Мероприятия технического этапа рекультивации	Мероприятия биологического этапа рекультивации
Лапинские (№ 1, 2)	20—25 — дейст- вующие	10—40	30—37	Богословское месторождение (2000 га) Аргиллиты, песчаники	Самозараста- ние после пла- нировки	Планировка поверхности	—
Турьинские (№ 1, 3 и Копейский)	5—35	10—12	28—37	Глины, аргиллиты, песча- ники	Рекультивиро- вана Самозараста- ние без плани- ровки	То же —	Лесопосадки (сосна), посев трав+НРК
Северный № 5	5—15	10—25	20—35	Известняки	Рекультивиро- вана, аэрод- ром	Планировка, укавка, час- тичное покры- тие гравием	—
Отвалы № 5 в, 10, 12, 12 в	10—30	3—35	20—35	То же	Самозараста- ние без плани- ровки	—	—
Северный	7—30	10—28	30—37	Веселовское месторождение (505 га) Песчаники, аргиллиты, глины	То же Самозараста- ние после пла- нировки Посев много- летних трав и овса	Планировка бульдозером То же	— Внесение НРК посев тимо- феевки и дру- гих культур

Продолжение табл. 57

Отвалы	Время окончания отсыпки, лет	Высота насыпи, м	Угол склонов, град	Преобладающие на поверхности породы	Состояние поверхности	Мероприятия технического этапа рекультивации	Мероприятия биологического этапа рекультивации
Южный	10—18	3—24	25—37	То же	Самозараста- ние без плани- ровки Лесопосадки	—	—
Отвалы раз- реза № 6	15—20	5—17	25—35	Волчанское месторождение (1326 га) Аргиллиты, алевролиты, выветрелые песчаники	Лесопосадки	Частичная планировка, упорядочива- ние бугров	Ручная посад- ка сосны
Отвалы раз- реза № 2: старый (149 га)	20—25	4—25	25—30	Алевролиты, аргиллиты, выветрелые глины	Самозараста- ние без плани- ровки	—	—
действующий (177 га)	10 — дей- ствующий	25—40	30—40	Алевролиты, аргиллиты, песчаники не выветрелые, крепко сцементированные, известняки, галечники, глины	Не рекульти- рована	—	—
Отвал раз- реза № 3 (292 га)	То же	10—28	25—37	Глины, алевролиты, аргил- литы, песчаники	Самозараста- ние без плани- ровки	—	—
Отвал раз- реза № 5 (660 га)	4	20—40	25—40	Глины, алевролиты, аргил- литы, песчаники на извест- ковом цементе, галечники	Не рекульти- рована	—	—

не преследует основную цель — по возможности нейтрализовать отрицательное воздействие отвалов на окружающую среду, в первую очередь, на граничащие с ними фитоценозы. Результатом ее будут исключительно культурфитоценозы, долговечность, хозяйственная и эстетическая ценность которых определяются рекультивационными мероприятиями. По сути дела, здесь необходимо моделирование фрагментов техногенного ландшафта, что требует очень больших затрат, исчисляемых десятками тыс. рублей на 1 га. Поэтому рекультивация отвалов в Кизеловском бассейне практически не проводится. Лишь использование технологии с применением микроорганизмов института ВНИИОСуголь оказалось перспективным и дало возможность рекультивировать часть отвалов на шахтах им. Ленина и «Северной» (Хорошавин и др., 1983).

Иная картина наблюдается на более благоприятных по эдафическим условиям отвалах. Здесь предложенная схема прошла производственное опробование и успешно применяется при проектировании и практическом выполнении рекультивационных работ; восстановительные силы природы призваны сыграть свою роль. Так, около 20% площадей отвалов выделены как не требующие биологической рекультивации, где лесные фитоценозы восстановились естественным путем. Общий спектр появившихся на отвалах фитоценозов достаточно разнообразен. На отвалах Веселовского и Богословского месторождений, где рекультивация осуществлена на больших площадях, наблюдаются естественные фитоценозы, возникшие в процессе самозарастания, полуестественные (подсадка саженцев сосны), культурфитоценозы в широком спектре — от посадок сосны с минимальным последующим уходом до посевов многолетних трав сенокосно-пастбищного использования (постоянный разной интенсивности уход). На отвалах, сложенных потенциально плодородными породами или с примесью торфа, созданы агрофитоценозы с постоянной и наиболее кардинальной регуляцией (посадка картофеля, посев овса и ячменя и др.). На подобных отвалах при разработке специальной технологии возможно создание коллективных садов и огородов.

Рекультивация с коренным улучшением свойств субстрата на Урале производится очень редко из-за отсутствия запасов почвы и потенциально плодородных пород. Чаще осуществляется разработка способов биологической рекультивации путем закладки опытных стационаров, где испытываются различные варианты, предусматривающие частичное улучшение свойств субстрата, такие как внесение комплекса органических и минеральных удобрений, древесных опилок, золы тепловых электростанций, ила очистных сооружений, полив осветленными сточными водами и т. д. Основной задачей при этом является подбор ассортимента видов, пригодных для данных конкретных условий. С биологической точки зрения происходит определение толерантности взятых в испытание

№ участка	Глубина, м	рН		Сухой остаток, %
		водный	солевой	
I	39	2,26—6,64	Не опр.	0,51—1,57
II	52	2,38—6,20	Не опр.	0,88—1,56
III	14	4,70—8,45	4,27—7,52	0,12—1,04
IV	72	4,20—8,10	3,93—7,20	1,09—1,74
V	64	6,70—8,48	6,35—7,35	0,24—0,54
VI	10	2,75—6,75	2,63—6,43	0,84—2,87

видов к специфическим условиям отвалов, а вернее, к сложному комплексу условий. Наиболее пригодными для этих целей оказались многолетние травы, а подробное изучение процесса естественного зарастания дает возможность обоснованно подходить к их ассортименту.

Наиболее характерным примером подобного вида работ является разработка способов биологической рекультивации Коркинского угольного разреза в режиме сухой консервации. Коркинский разрез представляет собой многоуступную чашу с размерами в плане $3 \times 2,2$ км, глубиной свыше 400 м (принятая проектная — 570 м). Объем выработанного пространства более 800 млн м^3 , к концу отработки превысит 1 млрд м^3 . Зональное положение разреза (лесостепная зона) обеспечивает вполне благоприятные условия для биологической рекультивации, но большая глубина и свойства пород чрезвычайно ее затрудняют. Значительная масса вскрышных пород составлена смесью сульфидсодержащих опоковидных глин, углистых коренных пород, третичных глин и скальных пород (песчаников, конгломератов, сидеритизированных алевролитов и др.) — непригодных или малоприспособленных для биологической рекультивации. Четвертичные породы часто засолены. Учет гидрогеологических и гидрологических условий разреза показал, что естественно возможной является его сухая консервация. Направление биологической рекультивации — природоохранное, санитарно-гигиеническое.

На породах с разной характеристикой (табл. 58) испытано 13 видов многолетних трав и 20 — деревьев и кустарников в двух вариантах: I — порода; II — порода + $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. Результаты проведенной работы публиковались (Серая, Чибрик, 1984, 1985; Чибрик, Красавин, 1981, 1983; Чибрик, 1987; и др.).

опытных участков Коркинского угольного разреза

Тип засоления	С. %		P ₂ O ₅	K ₂ O
	Общий	Гумус	мг/100 г	
Сульфатный, магниево-кальциевый	Не опр.	Не опр.	1,70—4,85	2,3—21,1
То же	Не опр.	Не опр.	2,23—3,93	1,9—17,6
Сульфатный, кальциевый	0,46—5,86	0,18—1,31	0,45—3,59	6,5—19,6
То же	1,40—6,10	0,30—1,19	0,45—3,34	6,5—19,5
Не засолен	1,18—8,75	0,25—0,56	0,47—3,19	8,8—22,3
Сульфатный, кальциевый	1,80—9,51	0,30—1,99	0,49—2,16	9,0—15,6

Проведенные испытания многолетних трав позволили охарактеризовать высоту травостоя, темп развития и способность к семенному возобновлению в условиях разреза и определить их ассортимент для разных пород и с учетом направления использования (табл. 59). Следует учесть, что возможности улучшения свойств субстрата в разрезе весьма ограничены.

В таблице условно приняты следующие значения.

1. Высота травостоя: низкий — основная масса растений (>80%) ниже 25 см; средний — основная масса растений 25—60 см; высокий — основная масса растений выше 60 см.

2. Темп развития условно определяется временем, когда культурфитоценоз достигает максимальной продуктивности: на 2—3-й год — быстрый, на 4—5-й — средний, на 6—7-й — медленный. Темпом развития определяется и долголетие посева.

3. Способность к семенному возобновлению определяется в период максимального развития культурфитоценоза и имеет следующее соответствие: слабая — всхожесть собранных семян не более 10%, в культурфитоценозе имеются единичные всходы и ювенильные растения; удовлетворительная — всхожесть собранных семян 10—80%, всходы и ювенильные растения составляют 10—30% от общего числа особей; хорошая — всхожесть собранных семян более 80%, наблюдаются массовые всходы и ювенильные растения.

Учет данных табл. 59 позволяет прогнозировать состояние культурфитоценозов из испытанных видов. Например, посевы клеверов красного и гибридного можно рекомендовать лишь на плодородных и потенциально плодородных породах. Обладая быстрым темпом развития, они на 2-й или 3-й год при соответствующей агротехнике дают максимальную надземную массу, но на 4—5-й мо-

Ассортимент многолетних трав для Коркинского угольного разреза

Вид	Высота травостоя	Темп развития	Способность к семенному возобновлению	Рекомендуемые породы*	Направления использования посевов
Волоснец сибирский	Низкий, средний	Средний	Слабая Злаки	Малопрigодные	Озеленение; санитарно-гигиеническое
Житняк гребенчатый	Средний	Средний	Хорошая	То же	Сенокосные угодья
Кострец безостый	Средний, высокий	Медленный	Удовлетворительная, хорошая	«	То же
Овсяница луговая	Средний	То же	Слабая, удовлетворительная	Пригодные, потенциально плодородные	Озеленение; санитарно-гигиеническое
Полевика белая	Низкий, средний	«	То же	Малопрigодные	То же
Пырей бескорневищный	Средний	Средний	«	То же	«
Регнерия волокнистая	То же	То же	«	«	Сенокосные угодья
Тимофеевка луговая	Средний, высокий	«	Удовлетворительная, хорошая	«	То же

Продолжение табл. 59.

Вид	Высота травостоя	Темп развития	Способность к семенному возобновлению	Рекомендуемые породы*	Направление использования посева
Донник желтый двухлетний	Средний, высокий	Быстрый	Бобыше Удовлетворительная	Малопривгодные	Культура сидерат
Клевер гибридный	Средний	То же	Не наблюдалась	Привгодные, плотнательно-плотнородные	Сенокосные угодья; декоративное
Клевер красный	То же	«	То же	То же	То же
Люцерна пестрогибридная	Средний, высокий	Медленный	Слабая	Малопривгодные	Сенокосные угодья
Эспарцет песчаный	Высокий	Медленный	Хорошая	То же	То же

* Группа пригодности пород для биологической рекультивации приведена согласно их классификации, опубликованной ранее (Чибрик, Красавин, 1983).

гут почти полностью деградировать, при этом семенного возобновления не наблюдается. В посевах люцерны семенное возобновление слабое, но они удаются на малоплодородных породах и из-за медленного темпа развития долголетние. Несколько иная судьба посевов из видов, способных к семенному возобновлению, где состояние и долголетие в значительной степени определяются ею. Так, культурфитоценозы тимopheевки луговой при соответствующем уходе длительное время могут находиться в хорошем состоянии за счет семенного возобновления.

Проведенные эксперименты позволили убедиться в возможности создания культурфитоценозов в угольном разрезе при минимальных затратах на улучшение свойств субстрата и подобрать ассортимент многолетних трав, деревьев и кустарников для этих целей. Умелое моделирование экотопов в разрезе, посев многолетних трав, посадка деревьев и кустарников подходящего ассортимента способствуют увеличению видового и фитоценотического разнообразия растительного покрова разреза и ускоряют его формирование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология биологической рекультивации включает мероприятия технического этапа, предусматривающего меры улучшения свойств субстрата, и биологические. Мероприятия технического этапа являются конечными при формировании отвалов и поверхности карьеров. Они решают задачу создания рельефа, литологической основы, в значительной степени предопределяют водный режим, микроклиматические и противоэрозионные условия, даже при последующем самозаращении отвалов и карьеров.

Меры улучшения свойств субстрата достаточно разнообразны и зависят от реальных возможностей предприятий. Наиболее кардинальными являются нанесение на спланированную поверхность плодородного слоя почвы или потенциально плодородных пород. Чаще приходится ограничиваться внесением органических и минеральных удобрений, применением подручных отходов производства, таких как древесные опилки, зола тепловых электростанций, шлаки, полив осветленными сточными водами, внесение ила очистных сооружений и др.

Задачи, которые решаются при этом, зависят от степени пригодности пород нарушенных территорий для биологической рекультивации. Для непригодных решается задача нейтрализации неблагоприятных свойств, обуславливающих непригодность, и доведение до определенной степени пригодности, для малопригодных необходимо по возможности повысить степень пригодности и плодородие. В конечном счете эти мероприятия направлены на дополнительное внесение органического вещества и повышение энергетического уровня техногенных экосистем.

Мероприятия биологического этапа рекультивации предусматривают окультуривание подготовленной для биологической рекультивации территории.

На нарушенных промышленностью землях в зависимости от интенсивности антропогенной регуляции формируется следующий ряд фитоценозов:

натурфитоценозы — естественные фитоценозы, сформировавшиеся в процессе самозаращения;

полуестественные — создаются при санитарно-гигиеническом

направлении рекультивации, когда производится посев многолетних трав и посадка особого ассортимента деревьев и кустарников, дальнейшее их развитие происходит естественным путем (своего рода натурализация);

культурафитоценозы — лесные насаждения с постоянным уходом, сенокосно-пастбищные угодья, сады и др., регуляторная роль человека постоянная, но может быть и незначительной;

агрофитоценозы — сельхозугодья с полной антропогенной регуляцией.

Фитоценозы техногенных ландшафтов, возникшие в процессе самозаращения, — результат сложного взаимодействия зонально-климатических и конкретных экологических условий: чем они благоприятнее, тем ближе к зональному типу формирующиеся фитоценозы. Флористический состав формирующихся сообществ в значительной степени определяется условиями местообитания, в первую очередь эдафическими.

Общими для флоры техногенных ландшафтов всех зон Урала являются 92 вида (20,7%), преимущественно сорно-рудеральные (45%) и луговые (32%), но ценотическая значимость этих видов по зонам различна, особенно в группе доминантов. Об этом свидетельствует коррелятивная связь флор с учетом обилия и постоянства видов. Коэффициент корреляции с учетом обилия видов между флорами техногенных ландшафтов лесной и лесостепной зон 0,29, между лесной и степной 0,1, между лесостепной и степной 0,21, а с учетом балла постоянства соответственно 0,59, 0,21 и 0,46. В общем списке соотношение ценоэлементных групп таково, что сорно-рудеральные составляют 27%, лесные 14, луговые 19, лугово-степные и степные 27%; для лесной зоны соответственно 33, 18, 32, 13; для лесостепной 38, 5, 19, 26; для степной 29, 2, 13, 43%.

Обобщение по флористическому составу фитоценозов техногенных ландшафтов Урала проводится впервые. Нет таких сводок и по другим регионам страны. В данной работе сделана попытка как можно полнее показать и охарактеризовать видовой состав сообществ, дать биоэкологические спектры флор отдельных техногенных объектов, провести сравнительный анализ как флор отдельных объектов определенной зоны, так и суммарно флористического состава сообществ техногенных ландшафтов по зонам, проводя верификацию различными методами. При анализе использованы индексы сходства Чекановского, Сьеренсена по общности видов, по видовому и родовому разнообразию семейств, коэффициенты корреляционной связи и метод главных компонент с целью показа возможности их применения при исследованиях по биологической рекультивации. Этим объясняется некоторая перегруженность работы таблицами и иллюстрациями, которые независимо от текста несут значительную обобщенную информацию.

При сравнении флоры техногенных ландшафтов по зонам ис-

пользовались метод главных компонент, факторный, дискриминантный и кластерный анализы. Решение задач на основе корреляционной матрицы целесообразно методом главных компонент и α -методом Кайзера, а с использованием количественных показателей слабо скоррелированных признаков предпочтительны дискриминантный и кластерный анализы.

На всех изученных объектах формирование растительных сообществ идет по типу первичной сукцессии. При общей зональной направленности этого процесса своеобразие формирующихся сообществ, иногда преобладающее, определяется конкретными экологическими условиями. В формировании сообществ на нарушенных промышленностью землях с интенсивным процессом самозаращения достаточно четко выделяются следующие стадии сингенеза: экологическая группировка (проективное покрытие 0,1%); простая группировка (0,1—5%); сложная группировка (6—50%); фитоценоз (проективное покрытие более 50%).

Применение методов факторного анализа для обработки фактического материала позволило углубить представление о данном процессе. Стадии сингенеза четко индицируются флористическим составом формирующихся сообществ, для каждой стадии выделяются характерные флористические группы. Сопоставление их дает возможность прогнозировать видовой состав растительных сообществ на ближайшее будущее.

Анализ стадий сингенеза позволяет утверждать, что смена видового состава происходит намного раньше, чем устанавливается физиономическая структура сообществ. Процесс формирования сообществ при самозаращении замедлен, сложная растительная группировка более длительна, чем предполагалось ранее.

В целом в фитоценозах техногенных ландшафтов, возникших в процессе самозаращения, наблюдается снижение видового разнообразия, замена стенотопных видов эвритопными. Формирующиеся сообщества довольно однотипны, уменьшается фитоценотическое разнообразие растительного покрова регионов с интенсивными техногенными нарушениями. Наблюдается усиление некоторых видов через внедрение их в сообщества техногенных ландшафтов. В качестве примера можно привести вейник наземный, критезон гривастый и кохию веничную на территории Челябинского бурого угольного бассейна с сильным техногенным нарушением растительного покрова.

При биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель необходимо учитывать (да и планировать) место формирующихся сообществ в общей структуре растительного покрова региона и создавать условия для максимального проявления восстановительных сил природной среды.

ЛИТЕРАТУРА

Акулов А. А., Макаров П. М. К изучению процессов естественного зарастания породных отвалов угольных шахт Подмосковья / Перм. ун-т, 1980. 24 с. Деп. в ВИНИТИ 11.12.80. № 5516—80.

Александрова В. Д. Растительное сообщество в свете некоторых идей кибернетики // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1961. Т. 66. № 3. С. 101—112.

Александрова Л. Н., Найденова О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л.: Колос, 1967. 350 с.

Алимов Ю. И. Измерение моментов системы случайных величин. Свердловск: Урал. политехн. ин-т, 1984. 84 с.

Алимов Ю. И. Измерение спектров и статистических вероятностей. Свердловск: Урал. политехн. ин-т, 1986. 96 с.

Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М.: Физматгиз, 1963. 370 с.

Андреев В. Л. Анализ эколого-географических данных с использованием теории нечетких множеств. Л.: Наука, 1987. 154 с.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.

Баранник Л. П. Естественное зарастание угольных отвалов в Кузбассе: (на примере Байдаевского карьера) // Охрана горных ландшафтов Сибири. Новосибирск, 1973. С. 52—58.

Беллман Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 1969. 351 с.

Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М., 1976. 229 с.

Берж К. Теория графов и ее применение. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 319 с.

Бернулли Я. О законе больших чисел. М.: Наука, 1986. 175 с.

Беспровзана С. Я. Бобовые культуры на золоотвале Южно-Уральской ГРЭС // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Вып. 7. Свердловск, 1970. С. 136—139.

Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Я. Г. Механика и прикладная математика: Логика и особенности приложений математики. М.: Наука, 1983. 61 с.

Бондарь Г. А. Биоэкологический анализ восстанавливающихся фитоценозов различных вскрышных пород Александровской группы буроугольных карьеров // Вопросы биологии, селекции и агротехники полевых и плодовых культур. Харьков, 1971 а. С. 99—100.

Бондарь Г. А. О процессах естественного зарастания отвальных пород буроугольных и железорудных карьеров // Растения и промышленная среда. Киев, 1971 б. С. 149—153.

Бондарь Г. А. Растительный покров надугольной толщи Александровского буроугольного месторождения и вопросы фиторекультивации: Автореф. ... канд. биол. наук. Днепропетровск, 1974. 19 с.

Бондарь Г. А., Додатко Э. Л. Динамика растительного покрова при естественном зарастании грунтов отвалов открытых разработок в Днепровском буроугольном бассейне // Тр. Днепропетр. сельхоз. ин-та. 1973. Т. 18. С. 34—40.

Бондарь Г. А., Додатко Э. Л. Сингенетические сукцессии растительного покрова

на породах надугольной толщи Александрийского буроугольного месторождения // Рекультивация земель: К X Международному конгрессу почвоведов. Днепропетровск, 1974. С. 50—61.

Бондарь Г. А., Додатко Э. Л. Типологическая характеристика экотопов, возникающих на нарушенных землях Александрийских буроугольных карьеров // Создание высокопродуктивных агробиоценозов в техногенном ландшафте. Днепропетровск, 1975. С. 55—60.

Борисова И. В., Исаченко Т. И., Калинина А. В. и др. Список основных растений Северного Казахстана по жизненным формам и эколого-фитоценоотическим группам // Геоботаника. Л., 1961. Вып. 13. С. 487—514.

Быков Б. А. Доминанты растительного покрова Советского Союза. Алма-Ата, 1960—1965. Т. 1—3.

Быков Б. А. Геоботаническая терминология. Алма-Ата: Наука, 1967. 167 с.

Быков Б. А. Геоботаника. Алма-Ата: Наука, 1978. 288 с.

Бяловитч Ю. П. Введение в культурфитоценологию // Сов. ботаника. 1936. № 2. С. 21—36.

Василевич В. И. Статистические методы в геоботанике. Л.: Наука, 1969. 232 с.

Василевич В. И. Количественные методы изучения структуры растительности // Итоги науки и техники. Т. 1: Ботаника. М., 1972. С. 7—83.

Василевич В. И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 248 с.

Васильева Н. П. Естественное возобновление леса на отвалах Киреевского месторождения // Лесоведение. 1981. Вып. 3. С. 73—81.

Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555—571.

Временные методические указания по рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности / ВНИИОСуголь МУП СССР. Пермь, 1980. 300 с.

Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М.: Гостехтеориздат, 1967. 557 с.

Глотов Н. В., Животовский Л. А., Хованов Н. В. и др. Биометрия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 231 с.

Горбунов Н. И. Химико-минералогические признаки пригодности вскрышных пород для использования при биологической рекультивации // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск, 1970. С. 42—56.

Горбунов Н. И., Бекаревич Н. Е., Етеревская Л. В. и др. Классификация пород по степени их пригодности в сельском и лесном хозяйстве // Почвоведение. 1971. № 11. С. 123—136.

Горбунов Н. И., Туник Б. М. Минералогический состав, свойства и плодородие почв и пород, нарушенных промышленностью // Почвоведение. 1969. № 12. С. 104—114.

Горчаковский П. Л. Растительность // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 211—262. ГОСТ 17.5.1.01—78. Охрана природы: Рекультивация земель: Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1978. 9 с.

ГОСТ 17.5.1.02—85. Охрана природы: Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации. М.: Изд-во стандартов, 1985. 28 с.

ГОСТ 17.5.1.03—86. Охрана природы: Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. М.: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.

Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 358 с.

Денисюк Г. И. Особенности формирования растительного покрова техногенных ландшафтов Подолья // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 121—125.

Денисов Ю. И., Красавин А. П. Экспериментальные исследования отвальных грунтов для выбора вида рационального освоения // Основные вопросы восстановления нарушенных территорий при открытой разработке угольных месторождений Урала и Кузбасса. Челябинск, 1969. С. 35—66.

Денисов Ю. И., Савич А. И. О рекультивации территорий, нарушенных при откры-

- той добыче угля в Челябинском бассейне // Рекультивация промышленных пустошей. М., 1972. С. 155—163.
- Джефферс Дж.* Введение в системный анализ: Применение в экологии. М.: Мир, 1981. 256 с.
- Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Дробиз Ф. Д., Мельникова Э. И., Шилова И. И.* Содержание железа и алюминия в растениях, выращенных на красном шламе // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1970. С. 180—189.
- Дюран Б., Оделл П.* Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977. 128 с.
- Елькин Ю. А., Ищенко В. Г.* Опыт применения бинарных отношений для оценки морфологического сходства: (на примере представителей рода *Rapa*) // Журн. общей биологии. 1979. Т. 10, № 4. С. 618—621.
- Естественное зарастание вскрышных пород бурогоугольных карьеров / Бекаревич Н. Е., Додатко Э. Л., Бондарь Г. А. и др.* // Рекультивация земель в СССР. М., 1973. С. 151—166.
- Заде Л.* Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессу принятия решений // Математика сегодня. М., 1974. С. 5—49.
- Звонкин А. К., Левин Л. А.* Сложность конечных объектов и обоснование понятий информации и случайности с помощью теории алгоритмов // Успехи мат. наук. 1970. Т. 25, вып. 6. С. 85—127.
- Злобин Ю. А.* Агрофитоценология. Харьков, 1986. 74 с.
- Иберла К.* Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. 398 с.
- Ижевская Т. И., Васильева Н. П.* Влияние рельефа и возраста отвалов на развитие древесной и травянистой растительности // Вопросы географии. М., 1980. С. 174—183.
- Ищенко В. Г., Елькин Ю. А.* О степени морфологической удаленности и сходства бурых лягушек фауны СССР // Герпетологические исследования в Сибири и на Дальнем Востоке. Л., 1981. С. 45—48.
- Калман Р. Е.* Идентификация систем с шумами // Успехи мат. наук. 1985. Т. 40, вып. 4 (244). С. 27—41.
- Камышев Н. С.* Некоторые основные проблемы агрофитоценологии // Бюл. Моск. о-ва исп. природы. Отд. биол. 1971. Т. 76, № 2. С. 5—15.
- Карпов Д. Н., Миркин Б. М.* Оценка засоления почвы по растительности с использованием принципа индексов групп // Анализ закономерностей растительного покрова речных пойм. Уфа, 1971. С. 183—192.
- Карпов Д. Н., Розенберг Г. С.* Эксперимент по машинному распознаванию засоления пойменных почв Башкирского Зауралья и Предуралья по растительности // Статистические методы классификации, растительности и оценка ее связи со средой. Уфа, 1975. С. 218—222.
- Карташева Г. Г.* Динамика агрохимических свойств пород Коркинского угольного разреза // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1982. С. 33—43.
- Карташева Г. Г.* Химический состав деревьев и кустарников, произрастающих на уступах угольного разреза // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 72—77.
- Карташева Г. Г.* Химический состав растений, произрастающих в Коркинском угольном разрезе // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1985. С. 92—105.
- Ковалевский А. Л.* О биохимических параметрах растений и некоторых особенностях изучения их // Биогеохимия растений. Улан-Удэ, 1969. С. 195—214.
- Ковалевский В. В., Петрунина Н. С.* Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений. М., 1965. 281 с. (Проблемы геохимии).
- Колесников Б. П.* Естественноисторическое районирование лесов (на примере Урала) // Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на V Всемирном лесном конгрессе. М., 1960. С. 51—65.
- Колесников Б. П.* Лесотехнологическое районирование и порайонная специализация мероприятий на территории Большого Урала // Материалы по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск, 1963. С. 21—40.
- Колесников Б. П.* Леса Свердловской области // Леса СССР. Т. 4. М., 1969. С. 64—124.

Колесников Б. П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, 1974 а. С. 12—25.

Колесников Б. П. Рекультивация техногенных ландшафтов // Человек и окружающая среда. Л., 1974 б. С. 220—232.

Колесников Б. П., Лукьянец А. И. Биорекультивационное районирование Свердловской области // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1976. С. 10—16.

Колесников Б. П., Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Естественное формирование почвенного и растительного покровов на отвалах Челябинского бурогоугольного бассейна // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1976. С. 70—123.

Колесников Б. П., Моторина Л. В. Рекультивация земель, нарушенных промышленностью: (проблемы оптимизации техногенных ландшафтов) / ВДНХ. М., 1974. 37 с.

Колесников Б. П., Моторина Л. В. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М., 1978. С. 5—16.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. Некоторые результаты работы лаборатории промышленной ботаники Уральского университета по фитомелиорации промышленных отвалов // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск, 1970. С. 89—98.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. Классификация промышленных отвалов и условия почвообразования на них // Рекультивация земель в СССР. М., 1973. С. 33—64.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 3—28.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М., Махонина Г. И. и др. Рекультивация на Урале // Разработка способов рекультивации ландшафта, нарушенного промышленной деятельностью: Мат-лы V Междунар. симп. Бургас; Солнечный Берег, 1973. С. 88—93.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М., Пасынкова М. В. и др. Консервация поверхности золошлакоотвалов путем посева многолетних злаково-бобовых трав // Тез. докл. семинара «Эксплуатация золошлакоотвалов тепловых электростанций». М., 1970. С. 34—36.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М., Чибрик Т. С. и др. Исследования по рекультивации техногенных ландшафтов промышленных отвалов Урала // Рекультивация ландшафтов, нарушенных промышленной деятельностью: Тез. докл. VI Междунар. симп. М., 1976. С. 17—23.

Колесников Б. П., Терехова Э. Б. Облепиха на промышленных отвалах // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978. С. 61—67.

Колмогоров А. Н. Теория вероятностей // Математика, ее содержание, методы и значение. М., 1956. Т. 2. С. 252—284.

Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей. М.: Наука, 1974. 119 с.

Колмогоров А. Н., Журбенко И. Г., Прохоров А. В. Введение в теорию вероятностей. М.: Наука, 1982. 159 с.

Колокольников Л. Б. О ярусности у сорно-полевой растительности // Изв. Гл. бот. сада. 1929. Т. 28, вып. 5, 6. С. 505—524.

Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы. М.: Наука, 1973. 831 с.

Корчагин А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника: В 5 т. М.; Л., 1964. Т. 3. С. 39—62.

Котман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 431 с.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. и др. Ускоренная рекультивация породных отвалов угольных предприятий с использованием микроорганизмов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1985. С. 124—129.

Красавин А. П., Чибрик Т. С. К методике комплексных исследований при разработке технологии рекультивации угольных разрезов в режиме сухой консервации // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1982. С. 5—17.

Кувшинова К. В. Климат // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 82—118.

Кулагин А. Ю. Ивы антропогенных неозокотопов Предуралья и Южного Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1982. С. 105—113.

- Кульбак С. Теория информации и статистика. М.: Мир, 1967. 408 с.
- Куминова А. В. Растительный покров Алтая. Новосибирск, 1960. 450 с.
- Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов: Докл. на IV ежегодн. чтении памяти акад. В. Н. Сукачева. Москва, 18 ноября 1985 г. М., 1987. С. 5—27.
- Курош А. Г. Курс высшей алгебры. М.: Физматгиз, 1963. 263 с.
- Лебедев П. В., Углов Н. П. Биология и агротехника лугопастбищных трав. Свердловск, 1961. 190 с.
- Лебедева Н. А. Возможность рекультивации отвалов Кумертауского угольного разреза без нанесения почвенного покрова // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 78—84.
- Левина Р. Е. Способы распространения плодов и семян. М.: Изд-во МГУ, 1957. 358 с.
- Левит С. Я. О формировании древесных насаждений на железорудных отвалах Урала // Растения и промышленная среда, 1978. Свердловск, 1978. С. 14—26.
- Левит С. Я. Применение древесных опилок в качестве субстратулучшающего материала при рекультивации шламохранилищ // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1982. С. 75—80.
- Левит С. Я., Пикалова Г. М. Пути восстановления нарушенных земель Уральских железорудных месторождений // Теоретические и практические проблемы рекультивации нарушенных земель: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. (Донецк, 1975). М., 1975. С. 335—339.
- Левит С. Я., Пикалова Г. М. Породы вскрыши Уральских железорудных месторождений и возможность использования их для рекультивации // Освоение нарушенных земель. М., 1976. С. 72—81.
- Левит С. Я., Пикалова Г. М. Шламохранилища предприятий черной металлургии и проблемы их рекультивации // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 85—91.
- Левит С. Я., Пикалова Г. М., Дороненко Е. П. Лесовосстановление площадей, нарушенных при добыче железной руды на Урале // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. коорд. совещ. Тарту, 1975. С. 63—70.
- Левит С. Я., Чибрик Т. С., Пасынкова М. В. Рекультивация золоотвалов биологическими методами // Тез. докл. семинара «Пути совершенствования проектирования, эксплуатации и ремонта систем золошлакоудаления». М., 1978. С. 48—49.
- Литавуд Дж. Математическая смесь. М., 1978. 143 с.
- Лукьянец А. И. Закономерности естественного облесения промышленных отвалов Свердловской области // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, 1974 а. С. 241—248.
- Лукьянец А. И. Естественное возобновление древесных растений на железнодорожных отвалах открытых разработок Карпинско-Волчанского бурогоугольного бассейна (Свердловская область) // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974 б. С. 138—158.
- Лукьянец А. И. Архитектоника и фитомасса корневой системы естественных сосняков на железнодорожных отвалах Богословского и Веселовского месторождений бурого угля // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. коорд. совещ. Тарту, 1975. С. 151—157.
- Лукьянец А. И. Распространение семян древесных растений на промышленных отвалах Урала // Экология. 1982. № 2. С. 80—83.
- Лукьянец А. И., Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Оценка естественного восстановления и опыта рекультивации на песчаных отвалах Кичигинского месторождения формовочных песков // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. коорд. совещ. Тарту, 1975. С. 161—173.
- Маковский В. И., Новак Н. Б. Ботаническая и агрохимическая характеристика выработанных торфяных карьеров Лосиновского торфопредприятия (Свердловская область) // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 175—188.
- Мальцев А. И. Материалы по сорной растительности Курской губернии // Тр. Бюро по прикладной ботанике. 1909. № 10. С. 249—271.

- Мальцев А. И. Сорная растительность СССР. М.; Л., 1932. 296 с.
- Марков М. В. Агрофитоценоз как основной объект изучения агрофитоценологии, науки об искусственных посевах растений // Материалы I Межвузовского научного совещания по вопросам агрофитоценологии. Казань, 1969. С. 3—15.
- Марков М. В. Агрофитоценология. Казань, 1972. 268 с.
- Масюк Н. Т. Изучение растительности пород и образующихся почв на участках открытых разработок в Никопольском марганцеворудном бассейне: Автореф. ... канд. биол. наук. Днепропетровск, 1976. 19 с.
- Махонина Г. И. Химический состав растений, выросших на промышленных отвалах Урала // Материалы по экологии и физиологии растений уральской флоры. Свердловск, 1976 а. С. 140—146.
- Махонина Г. И. Содержание микроэлементов в растениях, выросших на отвалах Урала // Растения и промышленная среда. Киев, 1976 б. С. 102.
- Махонина Г. И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Баженовского месторождения асбеста при их самозарастании // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1979. С. 82—101.
- Махонина Г. И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Верхнеуфалейского никелевого месторождения // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1980. С. 101—110.
- Махонина Г. И. Химический состав травянистых растений на отвалах железорудных месторождений Урала // Почвообразование в антропогенных условиях. Свердловск, 1981. С. 47—59.
- Махонина Г. И. Химический состав растений на отвалах некоторых месторождений Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 68—71.
- Махонина Г. И. Химический состав кормовых трав на рекультивированных отвалах Веселовско-Богословского бурогольного месторождения // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1985. С. 81—91.
- Махонина Г. И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1987. 176 с.
- Махонина Г. И., Ахметьянова Л. Г. Минеральный состав растений, выросших на золоотвалах тепловых электростанций Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1979. С. 73—81.
- Махонина Г. И., Галкина Л. М. Химический состав растений, выросших на промышленных отвалах трех железорудных месторождений Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1980. С. 116—130.
- Махонина Г. И., Данилов В. Н., Еремкина Т. В. и др. Биологическая активность пород на рекультивированных отвалах Веселовско-Богословского бурогольного месторождения и золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1985. С. 70—80.
- Махонина Г. И., Ефремова Н. С. Химический состав растений на отвалах Кизеловского угольного бассейна // Структура и динамика биогеоценозов Урала. Свердловск, 1985. С. 132—143.
- Махонина Г. И., Кабонина О. И. Химический состав травянистых растений на терриконах угольных шахт Урала // Питание растений и программирование урожая сельскохозяйственных культур. Пермь, 1980. С. 20—26.
- Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Начальные этапы почвообразования на отвалах Кумертауского бурогольного разреза при естественном зарастании их растительностью // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974 а. С. 116—126.
- Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Агрохимическая и геоботаническая характеристика гидроотвалов Челябинского угольного бассейна // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974 б. С. 127—137.
- Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Естественное восстановление и вопросы рекультивации отвалов месторождений огнеупорных глин Южного Урала // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. коорд. совещ. Тарту, 1975. С. 158—163.
- Махонина Г. И., Чибрик Т. С. К характеристике начальных этапов почвообразования при естественном зарастании отвалов Веселовского бурогольного месторождения // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978 а. С. 72—84.

Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Агрохимическая и геоботаническая характеристика терриконов угольных шахт Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978 б. С. 93—126.

Махонина Г. И., Чибрик Т. С., Ужегова И. А. Процессы естественного восстановления почвенного и растительного покровов на отвалах Магнитогорского железорудного месторождения // Освоение нарушенных земель. М., 1976 а. С. 27—44.

Махонина Г. И., Чибрик Т. С., Ужегова И. А. Процессы формирования почвенного и растительного покровов на отвалах Аккермановского железорудного месторождения (степная зона Зауралья) // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1976 б. С. 132—144.

Мизес Р. Вероятность и статистика. М.; Л.: Госстатиздат, 1930. 260 с.

Миркин Б. М. Антропогенная динамика растительности // Итоги науки и техники / ВИНТИ. Ботаника. 1984. Т. 5. С. 139—235.

Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985. 136 с.

Миркин Б. М. Основы фитоценологии. Уфа, 1986. 79 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология: Принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Количественные методы классификации, ординации и геоботанической индикации // Итоги науки и техники / ВИНТИ. Ботаника. 1979. Т. 3. С. 71—137.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Толковый словарь современной фитоценологии. М.: Наука, 1983. 134 с.

Моторина Л. В. Естественное зарастание отвалов открытых разработок // Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1970. С. 118—123.

Моторина Л. В. О комплексности в рекультивации // Рекультивация промышленных пустошей. М., 1972. С. 7—18.

Моторина Л. В. Комплексность в рекультивации техногенных ландшафтов и терминологические аспекты // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М., 1978. С. 22—33.

Моторина Л. В. Роль комплексных экологических исследований в рекультивации земель // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 5—13.

Моторина Л. В. Развитие исследований и практических работ по рекультивации земель // Экологические основы рекультивации земель. М., 1985. С. 5—10.

Моторина Л. В., Ижевская Т. И. К динамике естественной растительности на отвалах угольных разрезов в Подмосковном бассейне // Научные основы охраны природы. М., 1973. Вып. 2. С. 119—129.

Моторина Л. В., Ижевская Т. И. Основные направления индикации сукцессий в техногенных ландшафтах // Влияние деятельности человека на природные экосистемы. М., 1980 а. С. 143—152.

Моторина Л. В., Ижевская Т. И. Сравнительная характеристика растительного покрова на отвалах открытых разработок бурого угля и железной руды // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1980 б. С. 80—88.

Моторина Л. В., Овчинников В. А. Промышленность и рекультивация земель. М.: Мысль, 1975. 240 с.

Моторина Л. В., Федотов В. И., Ижевская Т. И. Природно-техногенные комплексы угольных и железорудных месторождений Тульской области и возможности их рекультивации // Изменение природной среды в связи с деятельностью человека. М., 1978. С. 24—47.

Накаряков А. В., Назаренко В. В. О естественном возобновлении леса на вырубанных торфяниках Среднего Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1980. С. 96—101.

Никитин В. С., Битколов Н. З. Проветривание карьеров. М.: Недра, 1975. 254 с.

Овчинников В. А. Восстановление поверхности при бестранспортных системах. Тула: Приок. кн. изд-во, 1966. 72 с.

Овчинников В. А. Комплексность исследований по рекультивации земель, нарушенных карьерами // Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1970. С. 96—99.

- Овчинников В. А. Применение сетевого метода моделирования в исследованиях по рекультивации земель // Рекультивация земель в СССР. М., 1973. С. 103—118.
- Овчинников В. А. Актуальность, результаты и задачи исследований по рекультивации земель // Проблемы охраны земель и повышения продуктивности. М., 1985. С. 4—11.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- Озеленение золоотвалов тепловых электростанций Урала: Проспект ВДНХ. Свердловск, 1964. 7 с.
- Окунь Я. Факторный анализ. М.: Статистика, 1974. 200 с.
- Олейников А. Г., Дурова Р. А., Стороженко Н. Д. Специфические особенности рекультивации хвостохранилищ // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1982. С. 65—74.
- Оре О. Теория графов. М.: Наука, 1968. 336 с.
- О рекультивации земель в степи Украины. Днепропетровск: Промінь, 1971. 219 с.
- Пасынкова М. В. Опыт облесения золоотвалов тепловых электростанций // Растения и промышленная среда: Мат-лы науч. конф. Киев, 1971. С. 162—164.
- Пасынкова М. В. Зола как субстрат для растений // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 29—44.
- Пасынкова М. В. Рекультивация земель, нарушенных горными разработками при добыче огнеупорных глин // Растения и промышленная среда: Мат-лы III науч. конф. Киев, 1976. С. 50—52.
- Пасынкова М. В. Формирование растительности на отвалах Бускульского месторождения огнеупорных глин // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978. С. 26—32.
- Пасынкова М. В., Левит С. Я., Чибрик Т. С. Рекультивация золоотвалов биологическими методами // Энергетик. 1980. № 5. С. 28—30.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Географиздат, 1961. 496 с.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. школа, 1966. 392 с.
- Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Пианка Э. Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. 396 с.
- Пикалова Г. М. Рекультивация земель, нарушенных промышленностью: (проблемы изучения техногенных ландшафтов) // Экология. 1975 а. № 2. С. 108—110.
- Пикалова Г. М. Зонально-географические закономерности формирования естественных сообществ на золоотвалах // Материалы XII Междунар. ботан. конгр.: Тез. докл. Л., 1975 б. Т. 2. С. 552.
- Пикалова Г. М. Итоги пятнадцатилетних научно-исследовательских работ лаборатории промышленной ботаники по рекультивации земель, нарушенных промышленностью // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978. С. 5—13.
- Пикалова Г. М., Левит С. Я., Терехова Э. Б. и др. Способы и направления рекультивации земель на горнорудных предприятиях Урала и Казахстана // Рекультивация ландшафтов, нарушенных промышленной деятельностью: Тез. докл. VI Междунар. симпоз. М., 1976. С. 24—28.
- Пикалова Г. М., Серая Г. П., Левит С. Я. Сравнительный анализ флористического состава и производительности культурфитоценозов золоотвала Южно-Уральской ГРЭС // Растения и промышленная среда. Киев, 1971. С. 140—145.
- Пикалова Г. М., Серая Г. П., Пасынкова М. В. и др. Некоторые закономерности формирования культурфитоценозов на золоотвалах ТЭЦ Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 69—96.
- Пикалова Г. М., Чибрик Т. С., Левит С. Я. и др. Постоянное закрепление поверхностей золошлакоотвалов тепловых электростанций: Информ. письмо № 1—79. М.: Союзтехэнерго, 1979. 11 с.
- Плошко Г. С., Чибрик Т. С. Опыт создания сеяных лугов на отвалах Богословского буроугольного разреза // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, 1974. С. 180—183.
- Понятовская В. М. Учет обилия и особенности размещения видов в естествен-

ных растительных сообществах // Полевая геоботаника: В 5 т. М.; Л., 1964. Т. 3. С. 209—299.

Прокопьев М. Н., Горшунова Л. Г., Разин Г. С. Некоторые особенности естественного возобновления леса на дражных отвалах по долинам рек Урала // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, 1974. С. 226—232.

Работнов Т. А. Определение возрастного состава популяций видов в сообществе // Полевая геоботаника: В 5 т. М.; Л., 1964. Т. 3. С. 132—145.

Работнов Т. А. Изучение ценоотических популяций растений в целях выяснения «стратегии жизни» видов растений // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1975. Т. 80, вып. 2. С. 5—17.

Работнов Т. А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 383 с.

Работнов Т. А. Фитоценология. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1983. 296 с.

Работнов Т. А. Луговедение. М.: Изд-во МГУ, 1984. 319 с.

Рабочая книга по прогнозированию. М.: Мысль, 1982. 301 с.

Раменский Л. Г. Проективный учет и описание растительности / ВАСХНИЛ. М., 1929. 55 с.

Раменский Л. Г. О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии // Сов. ботаника. 1935. № 4. С. 25—42.

Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М., 1936. 670 с.

Раменский Л. Г. К методике сравнительной обработки и систематизации списков растительности и других объектов, определяемых несколькими несходно действующими факторами // Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л., 1971. С. 34—56.

Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижилов О. Н. и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.

Рева М. Л., Бакланов В. И. Динамика естественного зарастания терриконов Донбасса // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 109—116.

Рева М. Л., Хархота А. И., Дмитриенко А. А. Растительность техногенных земель в Донбассе // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978. С. 33—44.

Розенберг Г. С. К методике использования теории распознавания образов в фитоиндикационных исследованиях // Статистические методы классификации растительности и оценка ее связи со средой. Уфа, 1975. С. 5—37.

Розенберг Г. С. Обзор методов статистической геоботаники. М., 1977. Ч. 1: Коэффициенты сопряженности. 19 с. Деп. в ВИНТИ. № 19—77; Ч. 2: Индикация. 25 с. Деп. в ВИНТИ. № 1958—77; Ч. 3: Методы автоматической классификации. 38 с. Деп. в ВИНТИ. № 1321—77; Ч. 4: Ординация. 29 с. Деп. в ВИНТИ. № 1957—77.

Розенберг Г. С. Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 264 с.

Русанов А. К. Основы количественного спектрального анализа руд и минералов. М.: Недра, 1971. 360 с.

Семкин Б. П. О теоретико-множественных методах изучения растительных сообществ // Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. ботан. о-ва. Киев, 1973. С. 210—211.

Серая Г. П., Чибрик Т. С. Особенности структуры и жизненность ценопопуляций многолетних злаков в экспериментальных посевах (Жоринский угольный разрез) // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 30—38.

Серая Г. П., Чибрик Т. С. Жизненность ценопопуляций многолетних трав в зависимости от условий выращивания // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1985. С. 5—25.

Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника: В 5 т. М.; Л., 1964. Т. 3. С. 146—205.

Силин Ф. М. Исследование микроклимата карьеров Урала // Сб. работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. Свердловск, 1967. Вып. 6. С. 8—21.

Силин Ф. М. Микроклимат карьеров Урала // Сб. работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. Свердловск, 1970 а. Вып. 10. С. 9—23.

Силин Ф. М. Смог в Коркинском карьере в ноябре 1967 г. // Сб. работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. Свердловск, 1970 б. Вып. 10. С. 115—120.

Скарлыгина-Уфимцева М. Д. Методическое руководство по проведению летней практики по ботанической географии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. 70 с.

Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 311 с.

Справочник по климату СССР. М.: Гидрометеоиздат, 1968. Вып. 9, ч. 5. 262 с.

Станцавичус Л. С. Посевы как объект геоботаники // Изучение растительного покрова острова Сааремаа. Тарту, 1964. С. 56—80.

Тарчевский В. В. Промышленные отвалы и их освоение // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1964 а. Вып. 4. С. 67—80.

Тарчевский В. В. Влияние дымо-газовых выделений промышленных предприятий Урала на растительность // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1964 б. С. 5—69.

Тарчевский В. В. Биологические методы консервации золоотвалов тепловых электростанций Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1964 в. С. 70—115.

Тарчевский В. В. Формирование первичного фитоценоза на каменноугольной золе, покрытой слоем почвы // Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1966 а. С. 123—129.

Тарчевский В. В. Озеленение зольных отвалов тепловых электростанций Урала // Тр. Моск. о-ва испытателей природы. М., 1966 б. Т. 18. С. 281—287.

Тарчевский В. В. Закономерности формирования фитоценозов на промышленных отвалах: Автореф. ... д-ра биол. наук / Том. ун-т. Томск, 1967. 36 с.

Тарчевский В. В. Классификация промышленных отвалов // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970 а. Вып. 7. С. 84—89.

Тарчевский В. В. К вопросу о выделении новой отрасли ботанических знаний — промышленной ботаники // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970 б. Вып. 7. С. 5—9.

Тарчевский В. В., Беспрозвана С. Я., Власова Г. М. и др. Опыт закрытия растительностью шлаконаливных полей (золоотвалов) тепловых электростанций Урала. Свердловск, 1962. 16 с.

Тарчевский В. В., Беспрозвана С. Я., Пикалова Г. М. и др. Опыт создания агрофитоценозов на золоотвалах тепловых электростанций Урала и Сибири // Internationales Symposium über Rekultivierungen der durch den Bergbau beschädigten Boden. Praga, 1967. S. 379—383.

Тарчевский В. В., Дробиз Ф. Д. Содержание железа и алюминия в растениях, выращенных на специфических субстратах // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве, медицине Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. III Сиб. конф. Омск, 1969. С. 77—78.

Тарчевский В. В., Пикалова Г. М., Пасынкова М. В. и др. Итоги исследовательских работ по биологической рекультивации золоотвалов // Материалы симпозиума по вопросам рекультивации нарушенных промышленностью территорий. Лейпциг, 1970. Ч. 2. С. 309—312.

Тарчевский В. В., Чибрик Т. С. Изучение естественной растительности как необходимый этап биологической рекультивации отвалов при открытой добыче бурых и каменных углей // Растения и промышленная среда. Киев, 1968. С. 19—27.

Тарчевский В. В., Чибрик Т. С. Закономерности формирования естественной растительности на отвалах при открытой добыче бурого угля в Челябинском угольном бассейне // Рефераты докл. и сообщ. IV Урал. науч.-коорд. совещ. по проблеме «Растительность и промышленные загрязнения». Свердловск, 1969. С. 58—64.

Тарчевский В. В., Чибрик Т. С. Естественная растительность отвалов при открытой добыче каменного угля в Кузбассе // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1970 а. С. 65—77.

Тарчевский В. В., Чибрик Т. С. Озеленение уступов глубоких карьеров при до-

- быче бурого угля // Материалы симпозиума по вопросам рекультивации нарушенных промышленностью территорий. Лейпциг, 1970 б. Ч. 2. С. 318—322.
- Тарчевский В. В., Шубин Ф. М. Опыт по закрытию растительностью золоотвалов электростанций // Зап. Свердлов. отд. Всесоюз. ботан. о-ва. 1962. Вып. 2. С. 139—142.
- Терентьев П. В., Ростова Н. С. Практикум по биометрии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 152 с.
- Терехова Э. Б., Ланина Р. И., Пикалова Г. М. и др. Опыт рекультивации земель на железорудных карьерах Казахстана // Рекультивация земель, нарушенных открытыми горными разработками. Губкин; Орджоникидзе, 1974 а. С. 112—114.
- Терехова Э. Б., Ланина Р. И., Фоменко Л. Ф. Естественное зарастание отвалов Соколовского железорудного карьера // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974 б. С. 162—175.
- Терехова Э. Б., Пикалова Г. М., Ворошилин Г. И. Опытно-промышленные посадки на отвалах и бортах железорудных карьеров Северного Казахстана при применении некоторых горнотехнических мероприятий // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. коорд. совещ. Тарту, 1975. С. 56—62.
- Трофимов С. С., Овчинников В. А. Антропогенный рельеф Кузбасса // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск, 1970. С. 5—24.
- Тутубалин В. Н. Теория вероятностей. М.: Изд-во МГУ, 1972. 230 с.
- Тутубалин В. Н. Статистическая обработка рядов наблюдений. М.: Знание, 1973. 64 с.
- Тутубалин В. Н. Границы применимости: вероятностно-статистические методы и их возможности. М.: Знание, 1977. 67 с.
- Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 327 с.
- Урал и Приуралье. Природные условия и естественные ресурсы СССР. М.: Наука, 1968. 461 с.
- Уранов А. А. Жизненное состояние вида в растительном сообществе // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1960. Т. 67, вып. 3. С. 77—92.
- Уранов А. А. Вопросы изучения структуры фитоценозов и видовых ценопопуляций // Ценопопуляции растений: Развитие и взаимоотношения. М.: Наука, 1977. С. 8—20.
- Федотов В. И. Методологические основы и методика изучения техногенных ландшафтов // Программа и методы изучения техногенных биогеоценозов. М., 1978. С. 53—64.
- Федотов В. И. Естественные фитоценозы техногенных ландшафтов Курской магнитной аномалии // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1984. С. 22—30.
- Федотов В. И. Техногенные ландшафты: Теория, региональные структуры, практика. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1985. 191 с.
- Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменение под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Свердловск, 1969. 152 с.
- Фирсова В. П. Почвы южной тайги Урала и Зауралья. М.: Наука, 1977. 176 с.
- Фурсаев Л. Д., Хохлов С. С. Обоснование понятия «агрофитоценоз» // Тр. науч. конф. Саратов. ун-та. Секция биол. наук. Саратов, 1947. С. 5—7.
- Хамидулина М. В. Формирование растительных группировок на отвале Южно-Кузбасской ГРЭС в различных вариантах опыта // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1970. С. 78—96.
- Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика, 1972. 486 с.
- Хорошавин А. Н., Катаева И. В., Красавин А. П. Рекультивация породных отвалов с использованием микроорганизмов // Ускоренная рекультивация земель на шахтах и разрезах: Экспресс-информация ЦНИЭИуголь. М., 1983. Вып. 4. С. 15—21.
- Ценопопуляции растений: (основные понятия и структура) / Под ред. А. А. Уранова. М.: Наука, 1976. 217 с.
- Ценопопуляции растений: (развитие и взаимоотношения) / Под ред. Т. И. Серебряковой. М.: Наука, 1977. 131 с.
- Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.

Часовенная А. А. Основы агрофитоценологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. 187 с.
Чеклина В. Н., Савич А. И. Классификация грунтов вскрыши открытых угольных разработок // Восстановление земель после промышленных разработок. М., 1967. С. 37—54.

Черепанов С. К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука, 1981. 509 с.

Чибрик Т. С. Формирование растительных сообществ в процессе самозарастания на отвалах угольных месторождений Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1979 а. С. 23—59.

Чибрик Т. С. Опыт рекультивации породных отвалов открытых угольных разработок Карпинско-Волчанского бассейна // Проблемы создания защитных насаждений в условиях техногенных ландшафтов. Свердловск, 1979 б. С. 110—118.

Чибрик Т. С. Характеристика опытных посевов многолетних трав на нарушенных промышленностью землях // Рост, развитие и семенная продуктивность травянистых кормовых растений. Свердловск, 1987. С. 169—178.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на отвалах железорудных месторождений: (степная зона Зауралья) // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1989 а. С. 7—43.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Использование многомерных математических методов при изучении химического состава растений // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1989 б. С. 87—110.

Чибрик Т. С., Красавин А. П. К проблеме рекультивации выработанных пространств глубоких угольных разрезов // Почвообразование в антропогенных условиях. Свердловск, 1981. С. 90—100.

Чибрик Т. С., Красавин А. П. Особенности озеленения выработанного пространства глубоких разрезов // Ускоренная рекультивация земель на шахтах и разрезах: Экспресс-информация ЦНИЭИУголь. М., 1983. Вып. 4. С. 2—15.

Чибрик Т. С., Левит С. Я. Особенности биологической рекультивации на Урале // Рекультивация ландшафтов, нарушенных промышленностью: Докл. IX Междунар. симпози. Компольт; Дьоньш (ВНР), 1988. Т. 2. С. 348—357.

Чикишев А. Г. Природное районирование // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 305—350.

Шенников А. П. Луговоедение. Л.: Изд-во ЛГУ, 1941. 130 с.

Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.

Шилова И. И. Закрепление дамб шламовых отвалов при помощи растительности // Papers for internacional symposium devoted to the problems of the ceclamation of postindustrial lands. Katowice, 1965. P. 209—212.

Шилова И. И. Экологическая характеристика шламового отвала Уральского алюминиевого завода и проблема его консервации // Сб. работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. Свердловск, 1966. Вып. 5. С. 99—111.

Шилова И. И. Естественное зарастание шламового отвала Уральского алюминиевого завода // Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1970. С. 123—128.

Шилова И. И. Естественное зарастание породных отвалов некоторых предприятий цветной металлургии Урала и Сибири // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, 1974. С. 165—172.

Шилова И. И., Зуева Г. В. Естественная растительность золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС // Рефераты докл. и сообщ. IV Урал. науч.-коорд. совещ. по проблеме «Растительность и промышленные загрязнения». Свердловск, 1969. С. 170—173.

Шилова И. И., Логинова Н. Б. Экологическая специфика отвалов предприятий цветной металлургии и оценка возможности создания на них культурфитоценозов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 45—55.

Шилова И. И., Плошко Г. С., Руссак Н. Б. Начальные этапы засоления насыпного грунта и влияние этого процесса на формирование растительности фитотоксичных субстратов отвалов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978. С. 126—135.

Шметтерер Л. Введение в математическую статистику. М.: Наука, 1976. 520 с.

Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 176 с.

- Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.
- Штина Э. А., Шилова И. И., Неганова Л. Б. Начальный этап сингенеза растительности на шламовых отвалах алюминиевых заводов Урала // Экология. 1971. № 4. С. 31—35.
- Щербатенко В. И., Кондрашин Е. Р. Естественная растительность отвало-карьерных ландшафтов // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири: (теория и технология). Новосибирск, 1977. С. 65—81.
- Юрцев Б. А., Семкин Б. И. Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов // Ботан. журн. 1980. Т. 65, № 12. С. 1706—1718.
- Adamowicz St., Bojarski L., Greszta I. et al. Wplyn Gornichwa Podziemnego na gospodarske lesna oraz zasady pusterowania w sprawach o zkody gornieze w lasach // Biul. Zaklad Badan Naukowych. Krakow, 1963, 1.
- Hall I. G. The ecology of disused pit heaps in England // J. Ecol. 1957. Vol. 45. P. 3.
- Knabe W. Zur Wiederurbanmachung in Braunkohlenbergbau. Berlin: Deuschen Verlag der Wissenschaften, 1959. Vol. 71.
- Limstrom C. A. Forestation in strip-mined land in the Central States // Agriculture handbook. 1960. Vol. 166.
- Pielou E. C. Mathematical ecology. N. Y.: J. Wiley and Sons, Intersci. Publ., 1977. 385 p.
- Pielou E. C. An introduction to mathematical ecology. N. Y. etc.: J. Wiley and Sons, Intersci. Publ. 1969. 286 p.
- Štys S. Recultivace a tvarování vysypek. SHD. Most. ČSSR, 1966.

**Флора техногенных ландшафтов Урала по зонам
(семейства расположены по системе Кронквиста—Тахтаджяна)**

№ п/п	Вид	Балл постоянства			Балл доминирования		
		Степная	Лесо- степная	Лесная	Степная	Лесо- степная	Лесная
1	2	3	4	5	6	7	8
	Equisetaceae						
1	<i>Equisetum arvense</i> L.	—	4	13	—	—	2
2	<i>E. pratense</i> L.	—	2	—	—	—	—
3	<i>E. sylvaticum</i> L.	—	—	11	—	—	1
	Pinaceae						
4	<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	—	—	14	—	—	—
5	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	—	—	22	—	—	—
6	<i>Pinus sylvestris</i> L.	—	6	60	—	—	—
	Cupressaceae						
7	<i>Juniperus communis</i> L.	—	—	2	—	—	—
	Ephedraceae						
8	<i>Ephedra distachya</i> L.	1	—	—	—	—	—
	Ranunculaceae						
9	<i>Actea spicata</i> L.	—	—	2	—	—	—
10	<i>Atragene sibirica</i> L.	—	—	2	—	—	—
11	<i>Consolida regalis</i> S. F. Gray.	1	—	—	—	—	—
12	<i>Ranunculus acris</i> L.	—	—	5	—	—	—
13	<i>R. auricomus</i> L.	—	—	8	—	—	—
14	<i>R. polyanthemus</i> L.	—	—	2	—	—	—
15	<i>R. repens</i> L.	—	3	7	—	—	—
16	<i>Thalictrum foetidum</i> L.	2	—	—	—	—	—
17	<i>T. minus</i> L.	—	—	5	—	—	—
18	<i>T. simplex</i> L.	3	—	6	—	—	—
	Fumariaceae						
19	<i>Fumaria officinalis</i> L.	—	1	2	—	—	—
	Cannabaceae						
20	<i>Cannabis ruderalis</i> Janisch.	—	8	3	—	—	—
	Urticaceae						
21	<i>Urtica dioica</i> L.	—	6	9	—	—	2
22	<i>U. urens</i> L.	—	—	1	—	—	—
	Betulaceae						
23	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	—	—	2	—	—	—
24	<i>A. incana</i> (L.) Moench.	—	—	4	—	—	—
25	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	—	6	3	—	—	—
26	<i>B. pendula</i> Roth.	—	10	59	—	—	7
	Caryophyllaceae						
27	<i>Cerastium holosteoides</i> Fries.	—	1	14	—	—	—
28	<i>Coronaria flos-cuculi</i> (L.) A. Br.	—	—	4	—	—	—
29	<i>Dianthus acicularis</i> Fisch. ex Ledeb.	3	—	—	1	—	—
30	<i>D. andrzejewscianus</i> (Zapa) Kutcz.	5	—	—	—	—	—
31	<i>D. deltoides</i> L.	—	—	3	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
32	<i>Eremogone longifolia</i> (Bieb.) Fenzl.	1	—	—	—	—	—
33	<i>Gypsophila altissima</i> L.	11	1	—	—	—	—
34	<i>G. paniculata</i> L.	21	1	3	—	—	1
35	<i>G. perfoliata</i> L.	—	3	—	—	—	—
36	<i>Melandrium album</i> (Mill) Garcke.	—	9	15	—	—	—
37	<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	19	4	21	—	—	1
38	<i>O. procumbens</i> (Murr.) Ikonn.	6	—	—	—	—	—
39	<i>Psammophiliella muralis</i> (L.) Ikonn.	—	3	—	—	—	—
40	<i>Scleranthus annuus</i> L.	5	—	—	3	—	—
41	<i>Silene dichotoma</i> Ehrh.	—	3	—	—	—	—
42	<i>S. nutans</i> L.	5	8	6	—	—	—
43	<i>S. repens</i> Patrin	—	4	—	—	—	—
44	<i>S. sibirica</i> (L.) Pers.	—	3	—	—	—	—
45	<i>S. viscosa</i> (L.) Pers.	—	2	—	—	—	—
46	<i>Spergularia rubra</i> J. et C. Presl	—	—	2	—	—	—
47	<i>Stellaria graminea</i> L.	—	—	25	—	—	—
48	<i>S. holostea</i> L.	—	—	8	—	—	—
	Amaranthaceae						
49	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	—	4	—	—	—	—
	Chenopodiaceae						
50	<i>Atriplex calotheca</i> (Rafn.) Fries	—	12	4	—	—	—
51	<i>A. littoralis</i> L.	—	13	4	—	—	—
52	<i>A. nitens</i> Schkuhr	10	26	—	4	3	—
53	<i>A. patula</i> L.	1	2	—	—	—	—
54	<i>A. tatarica</i> L.	21	23	7	6	1	2
55	<i>Axyris amaranthoides</i> L.	3	5	5	—	—	—
56	<i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	—	1	—	—	—	—
57	<i>Chenopodium album</i> L.	—	16	29	—	—	4
58	<i>Ch. glaucum</i> L.	—	4	2	—	—	—
59	<i>Ch. polyspermum</i> L.	—	3	—	—	—	—
60	<i>Ch. rubrum</i> L.	—	5	12	—	—	—
61	<i>Corispermum</i> L. sp.	5	—	—	—	—	—
62	<i>Halimione verrucifera</i> (Bieb.) Aell.	—	1	—	—	—	—
63	<i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad.	10	—	—	4	—	—
64	<i>K. scoparia</i> (L.) Schrad.	2	32	—	—	10	—
65	<i>Salicornia europaea</i> L.	—	4	—	—	2	—
66	<i>Salsola acutifolia</i> (Bunge) Botsch.	—	1	—	—	—	—
67	<i>S. australis</i> R. Br.	3	21	—	1	11	—
68	<i>S. collina</i> Pall.	14	43	1	4	9	—
69	<i>Suaeda corniculata</i> (C. A. Mey.) Bunge	3	4	—	1	2	—
	Polygonaceae						
70	<i>Atraphaxis frutescens</i> (L.) C. Koch.	3	—	—	—	—	—
71	<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve	—	5	6	—	—	—
72	<i>Polygonum aviculare</i> L.	20	47	25	7	4	4
73	<i>P. bistorta</i> L.	—	—	2	—	—	—
74	<i>P. hydropiper</i> L.	—	—	6	—	—	2
75	<i>P. linicola</i> (O. Schwarz) Sutul.	—	4	2	—	—	—
76	<i>P. persicaria</i> L.	—	2	1	—	—	—
77	<i>P. scabrum</i> Moench.	—	1	6	—	—	1
78	<i>Rumex acetosa</i> L.	2	1	13	—	1	—

1	2	3	4	5	6	7	8
79	<i>R. acetosella</i> L.	—	8	7	—	—	—
80	<i>R. confertus</i> Willd.	4	28	14	—	1	2
81	<i>R. crispus</i> L.	12	17	31	1	—	1
82	<i>R. obtusifolius</i> L.	1	2	—	—	—	—
83	<i>R. pseudonatronatus</i> (Borb.) Borb. ex Murb.	—	2	—	—	—	—
	Limoniaceae						
84	<i>Limonium gmelinii</i> (Willd.) O. Kuntze	9	—	—	—	—	—
	Hypericaceae						
85	<i>Hypericum perforatum</i> L.	1	—	—	—	—	—
	Violaceae						
86	<i>Viola arvensis</i> Murr.	—	1	5	—	—	1
87	<i>V. canina</i> L.	1	—	26	—	—	1
88	<i>V. mirabilis</i> L.	—	—	2	—	—	—
	Brassicaceae						
89	<i>Alyssum tortuosum</i> Waldst. et Kit. ex Willd.	2	—	—	—	—	—
90	<i>A. turkestanicum</i> Regel et Schmahlh	9	—	—	—	—	—
91	<i>Arabis sagittata</i> (Bertol) DC.	—	—	2	—	—	—
92	<i>Armoracia rusticana</i> Gaerth., Mey. et Scherb.	—	2	—	—	—	—
93	<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	—	2	5	—	—	—
94	<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	7	64	15	—	10	3
95	<i>Camelina sylvestris</i> Wallr.	—	1	—	—	—	—
96	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	—	3	9	—	—	—
97	<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	1	—	—	—	—	—
98	<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb. ex Prantl	3	5	5	—	—	—
99	<i>Draba nemorosa</i> L.	1	—	—	—	—	—
100	<i>Erucastrum armoracioides</i> (Czern. ex Turcz.) Cruchet	24	2	—	—	—	—
101	<i>Erysimum diffusum</i> Ehrh.	9	—	—	—	—	—
102	<i>E. cheiranthoides</i> L.	12	20	31	—	3	7
103	<i>Isatis costata</i> C. A. Mey.	11	—	—	—	—	—
104	<i>Lepidium latifolium</i> L.	3	—	—	—	—	—
105	<i>L. ruderale</i> L.	3	28	13	—	—	2
106	<i>L. sibiricum</i> Schweigg.	—	1	—	—	—	—
107	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	—	1	3	—	—	—
108	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Bess.	—	1	4	—	—	—
109	<i>R. palustris</i> (L.) Bess.	1	18	6	—	—	—
110	<i>R. sylvestris</i> (L.) Bess.	—	—	3	—	—	—
111	<i>Sinapis alba</i> L.	—	—	1	—	—	—
112	<i>Sisymbrium altissimum</i> L.	—	1	—	—	—	—
113	<i>S. loselii</i> L.	4	41	1	—	—	—
114	<i>S. polymorphum</i> (Murr.) Roth.	—	1	2	—	—	—
115	<i>Thlaspi arvense</i> L.	2	2	4	—	—	—
116	<i>Turritis glabra</i> L.	1	—	2	—	—	—
	Salicaceae						
117	<i>Populus</i> L. sp.	—	—	3	—	—	—
118	<i>Populus tremula</i> L.	—	9	46	—	—	2
119	<i>Salix</i> L. sp.	—	—	1	—	—	—
120	<i>Salix alba</i> L.	—	1	—	—	—	—
121	<i>S. caprea</i> L.	—	15	59	—	1	1
122	<i>S. myrtilloides</i> L.	—	2	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
123	<i>S. rossica</i> Nas.= <i>S. schwerinii</i> ×	—	—	4	—	—	—
124	× <i>S. viminalis</i> E. Wolf	1	1	16	—	—	—
	<i>Pyrolaceae</i>						
125	<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. Barton	—	—	2	—	—	—
126	<i>Pyrola minor</i> L.	—	—	6	—	—	—
127	<i>P. rotundifolia</i> L.	—	—	7	—	—	—
128	<i>P. chlorantha</i> Sw.	—	—	3	—	—	—
129	<i>Orthilia secunda</i> (L.) House <i>Ericaceae</i>	—	—	7	—	—	—
130	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	—	—	1	—	—	—
131	<i>V. vitis-idaea</i> L. <i>Primulaceae</i>	—	—	11	—	—	2
132	<i>Androsaceae filiformis</i> Retz.	—	—	3	—	—	—
133	<i>A. septentrionalis</i> L.	—	2	—	—	—	—
134	<i>Glaux maritima</i> L. <i>Euphorbiaceae</i>	—	3	—	—	—	—
135	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	—	1	—	—	—	—
136	<i>E. leptocaula</i> Boiss.	—	2	—	—	—	—
137	<i>E. volgensis</i> Krysh.	5	—	—	—	—	—
138	<i>E. waldsteinii</i> (Sojak) Czer. <i>Crassulaceae</i>	1	18	2	—	—	—
139	<i>Sedum telephium</i> L. <i>Rosaceae</i>	1	—	—	—	—	—
140	<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.	—	—	2	—	—	—
141	<i>Alchemilla vulgaris</i> L.	—	—	13	—	—	—
142	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	—	—	5	—	—	—
143	<i>F. vulgaris</i> Moench.	—	8	—	—	—	—
144	<i>Fragaria vesca</i> L.	1	8	37	—	4	6
145	<i>F. viridis</i> Duch.	5	12	—	—	1	—
146	<i>Geum rivale</i> L.	—	—	4	—	—	—
147	<i>G. urbanum</i> L.	—	—	5	—	—	—
148	<i>Potentilla anserina</i> L.	—	29	17	—	3	—
149	<i>P. argentea</i> L.	1	39	3	—	—	1
150	<i>P. bifurca</i> L.	3	4	—	—	—	—
151	<i>P. canescens</i> Bess.	1	3	1	—	—	—
152	<i>P. conferta</i> Bunge.	—	6	—	—	—	—
153	<i>P. erecta</i> (L.) Raeusch.	1	18	23	—	1	1
154	<i>P. heidenreichii</i> Zimmerer	—	5	—	—	—	—
155	<i>P. impolita</i> Wahl.	4	3	—	—	—	—
156	<i>P. intermedia</i> L.	—	2	—	—	—	—
157	<i>P. norvegica</i> L.	—	3	6	—	—	—
158	<i>P. supina</i> L.	—	7	—	—	—	—
159	<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	—	—	7	—	—	—
160	<i>R. glabritolia</i> C. A. Mey. ex Rupr.	1	—	—	—	—	—
161	<i>R. mayalis</i> Summ.	—	1	1	—	—	—
162	<i>R. rugosa</i> Thunb.	—	—	7	—	—	2
163	<i>Rubus arcticus</i> L.	—	—	8	—	—	—
164	<i>R. idaeus</i> L.	1	—	21	—	—	1
165	<i>R. saxatilis</i> L.	—	—	18	—	—	2
166	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	1	3	19	—	—	—
167	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	—	—	16	—	—	—
168	<i>Spiraea</i> L. sp.	1	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
	Fabaceae						
169	<i>Astragalus cicer</i> L.	—	3	—	—	—	—
170	<i>A. danicus</i> Retz.	6	21	3	—	1	—
171	<i>A. onobrichys</i> L.	2	—	—	—	—	—
172	<i>A. varius</i> S. G. Gmel.	3	—	—	—	—	—
173	<i>A. wolgensis</i> Bunge.	11	—	—	—	—	—
174	<i>Caragana arborescens</i> Lam.	—	—	1	—	—	—
175	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Wołoszcz.) Kláskova	3	3	41	—	—	1
176	<i>Genista tinctoria</i> L.	—	2	1	—	—	—
177	<i>Hedysarum grandiflorum</i> Pall.	3	2	—	—	—	—
178	<i>Lathyrus gmelinii</i> Fritsch.	—	—	2	—	—	—
179	<i>L. pisiformis</i> L.	—	—	4	—	—	—
180	<i>L. pratensis</i> L.	2	18	43	—	2	4
181	<i>L. tuberosus</i> L.	6	3	—	—	—	—
182	<i>L. vernus</i> (L.) Bernh.	—	—	11	—	—	—
183	<i>Medicago caerulea</i> Less. ex Ledeb.	2	10	—	—	—	—
184	<i>M. falcata</i> L.	23	27	—	—	5	—
185	<i>M. lupulina</i> L.	6	48	—	2	18	—
186	<i>Melilotus albus</i> Medik.	32	70	17	8	17	—
187	<i>M. dentatus</i> (Waldst. et Kit.) Pers.	—	4	—	—	—	—
188	<i>M. officinalis</i> (L.) Pall.	15	35	10	2	12	2
189	<i>M. wolgicus</i> Poir.	9	—	—	2	—	—
190	<i>Onobrychis sibirica</i> (Širj.) Turcz. ex Crossh.	2	—	—	—	—	—
191	<i>O. tanaitica</i> Spreng.	1	—	—	—	—	—
192	<i>Oxytropis pilosa</i> (L.) DC.	18	13	—	—	—	—
193	<i>Trifolium arvense</i> L.	—	1	1	—	—	2
194	<i>T. hybridum</i> L.	1	—	2	—	—	—
195	<i>T. lupinaster</i> L.	—	—	15	—	—	—
196	<i>T. medium</i> L.	3	15	27	—	—	—
197	<i>Trifolium montanum</i> L.	1	—	1	—	—	—
198	<i>T. pratense</i> L.	9	28	63	2	—	5
199	<i>T. repens</i> L.	9	48	56	—	15	8
200	<i>T. spadiceum</i> L.	—	—	3	—	—	—
201	<i>Vicia cracca</i> L.	8	41	34	—	1	3
202	<i>V. multicaulis</i> Ledeb.	1	—	—	—	—	—
203	<i>V. sepium</i> L.	—	1	19	—	—	—
204	<i>V. sylvatica</i> L.	—	1	27	—	—	1
205	<i>V. tenuifolia</i> Roth.	2	12	1	—	—	—
	Onagraceae						
206	<i>Chamaerion angustifolium</i> (L.) Holub.	2	36	81	—	—	—
207	<i>Epilobium palustre</i> L.	—	3	9	—	—	—
	Aceraceae						
208	<i>Acer negundo</i> L.	—	1	—	—	—	—
	Oxalidaceae						
209	<i>Oxalis acetosella</i> L.	—	—	1	—	—	—
	Geraniaceae						
210	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L' Her'.	—	1	2	—	—	2
211	<i>Geranium pratense</i> L.	—	—	2	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
212	G. sylvaticum L. Polygalaceae	—	—	15	—	—	—
213	Polygala vulgaris L. Apiaceae	2	—	1	—	—	—
214	Aegopodium podagraria L.	—	—	9	—	—	—
215	Anethum graveolens L.	—	1	—	—	—	—
216	Angelica sylvestris L.	—	—	5	—	—	—
217	Carum carvi L.	—	1	9	—	—	—
218	Cenolophium denudatum (Hornem.) Tutin	—	2	—	—	—	—
219	Conium maculatum L.	—	—	1	—	—	—
220	Crithmum maritimum L.	—	2	—	—	—	—
221	Eryngium planum L.	6	3	—	—	—	—
222	Falcaria vulgaris Bernh.	2	—	—	—	—	—
223	Heracleum sibiricum L.	—	—	4	—	—	—
224	Pastinaca sylvestris Mill.	13	30	6	—	—	2
225	Pimpinella saxifraga L.	—	1	18	—	—	—
226	Seseli libanotis (L.) Koch.	2	2	1	—	—	—
227	Silaum silaus (L.) Schinz. et. Thell.	2	—	—	—	—	—
	Elaeagnaceae						
228	Elaeagnus argentea Pursh. Rubiaceae	—	4	—	—	—	—
229	Calium biebersteinii Ehrend.	1	—	—	—	—	—
230	G. boreale L.	—	2	14	—	—	—
231	G. mollugo L.	1	—	4	—	—	—
232	G. ruthenicus Willd.	5	—	—	—	—	—
233	G. verum L. Caprifoliaceae	8	4	3	—	—	1
234	Linnaea borealis L.	—	—	1	—	—	1
235	Lonicera tatarica L.	—	2	—	—	—	—
236	L. xylosteum L.	—	—	2	—	—	—
237	Sambucus sibirica Nakai. Dipsacaceae	—	2	—	—	—	—
238	Knautia arvensis (L.) Coult.	1	1	1	—	—	—
239	K. tatarica (L.) Szabó	—	5	—	—	—	—
240	Scabiosa ucranica L.	1	—	—	—	—	—
241	Succisa pratensis Moench. Polemoniaceae	—	—	1	—	—	—
242	Polemonium caeruleum L. Convolvulaceae	—	—	3	—	—	—
243	Convolvulus arvensis L. Boraginaceae	17	52	4	1	5	3
244	Cynoglossum officinale L.	4	20	2	—	4	—
245	Echium vulgare L.	5	13	—	—	—	—
246	Lappula squarrosa (Retz.) Dumort.	4	37	32	—	2	3
247	Lithospermum officinale L.	—	1	—	—	—	—
248	Myosotis arvensis (L.) Hill.	—	2	2	—	—	—
249	Nonea pulla (L.) DC.	—	10	—	—	—	—
250	Onosma simplicissima L.	1	—	—	—	—	—
251	Pulmonaria dacica Simonk.	—	3	—	—	—	—
252	P. obscura Dumort.	—	—	2	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
	Solanaceae						
253	<i>Hyosciamus niger</i> L.	3	8	3	—	—	1
254	<i>Solanum dulcamara</i> L.	3	47	1	—	4	—
	Scrophulariaceae						
255	<i>Euphrasia hirtella</i> Jord. ex Reut.	—	—	2	—	—	—
256	<i>E. parviflora</i> Schag.	—	2	14	—	—	—
257	<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.	1	—	—	—	—	—
258	<i>L. vulgaris</i> Mill.	16	67	48	—	10	8
259	<i>Melampyrum arvense</i> L.	—	2	—	—	—	—
260	<i>M. pratense</i> L.	—	—	2	—	—	—
261	<i>Odontites vulgaris</i> Moench.	3	13	8	—	—	—
262	<i>Pedicularis kaufmannii</i> Pinzg.	—	—	2	—	—	—
263	<i>Rhinanthus alectorolophus</i> (Scop.) Poll.	—	—	2	—	—	—
264	<i>R. minor</i> L.	—	—	2	—	—	—
265	<i>Scrophularia nodosa</i> L.	—	—	1	—	—	—
266	<i>Verbascum phoeniceum</i> L.	3	—	—	—	—	—
267	<i>V. thapsus</i> L.	—	—	7	—	—	—
268	<i>Veronica chamaedrys</i> L.	—	—	8	—	—	—
269	<i>V. incana</i> L.	1	—	—	—	—	—
270	<i>V. longifolia</i> L.	—	1	—	—	—	—
271	<i>V. prostrata</i> L.	—	3	—	—	—	—
272	<i>V. spicata</i> L.	2	11	4	—	2	—
273	<i>V. spuria</i> L.	1	—	—	—	—	—
	Plantaginaceae						
274	<i>Plantago lanceolata</i> L.	—	1	4	—	—	—
275	<i>P. major</i> L.	1	14	8	—	—	—
276	<i>P. maxima</i> Juss. ex Jacq.	4	—	—	—	—	—
277	<i>P. media</i> L.	4	20	16	—	—	1
278	<i>P. salsa</i> Pall.	3	5	—	—	—	—
279	<i>P. tenuiflora</i> Waldst. et Kit.	—	5	—	—	—	—
280	<i>P. urvillei</i> Opiz.	2	1	—	—	—	—
	Lamiaceae						
281	<i>Betonica officinalis</i> L.	—	—	5	—	—	—
282	<i>Dracocephalum thymiflorum</i> L.	8	22	7	—	—	—
283	<i>Galeopsis ladanum</i> L.	—	—	3	—	—	—
284	<i>G. tetrahit</i> L.	—	1	—	—	—	—
285	<i>G. speciosa</i> Mill.	—	—	2	—	—	—
286	<i>Glechoma hederacea</i> L.	—	1	5	—	—	—
287	<i>Lamium album</i> L.	—	—	1	—	—	—
288	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	2	1	—	—	—	—
289	<i>Phlomis tuberosa</i> L.	4	2	—	—	—	—
290	<i>Prunella vulgaris</i> L.	—	—	6	—	—	—
291	<i>Salvia stepposa</i> Shost.	5	—	—	—	—	—
292	<i>Scutellaria galericulata</i> L.	—	—	2	—	—	—
293	<i>Thymus marschallianus</i> Willd.	2	—	—	—	—	—
294	<i>T. serpyllum</i> L.	1	—	—	—	—	—
	Campanulaceae						
295	<i>Campanula glomerata</i> L.	—	1	—	—	—	—
296	<i>C. patula</i> L.	—	2	—	—	—	—
297	<i>C. sibirica</i> L.	7	6	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
Asteraceae							
298	<i>Achillea millefolium</i> L.	14	53	70	3	15	5
299	<i>A. nobilis</i> L.	40	59	1	9	8	—
300	<i>A. ptarmica</i> L.	—	3	—	—	1	—
301	<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	—	—	7	—	—	1
302	<i>Anthemis tinctoria</i> L.	6	1	2	—	—	—
303	<i>Arctium lappa</i> L.	3	17	1	—	2	—
304	<i>A. tomentosum</i> Mill.	—	4	11	—	—	—
305	<i>Artemisia absinthium</i> L.	12	84	35	3	35	9
306	<i>A. austriaca</i> Jacq.	28	19	4	4	14	—
307	<i>A. campestris</i> L.	12	12	—	3	4	—
308	<i>A. dracunculus</i> L.	21	17	—	5	3	—
309	<i>A. frigida</i> Willd.	9	—	—	2	—	—
310	<i>A. glauca</i> Pall. ex Willd.	9	7	—	3	—	—
311	<i>A. lerchiana</i> Web. ex Stechm.	10	13	—	6	—	—
312	<i>A. marschalliana</i> Spreng.	20	—	2	4	—	2
313	<i>A. scoparia</i> Waldest. et Kit.	5	—	—	—	—	—
314	<i>A. sericea</i> Web. ex Stechm.	3	—	3	2	4	—
315	<i>A. sieversiana</i> Willd.	10	17	12	—	—	—
316	<i>A. vulgaris</i> L.	8	19	28	—	—	—
317	<i>Aster alpinus</i> L.	3	—	—	—	—	—
318	<i>A. amelloides</i> Bess.	—	6	—	—	7	—
319	<i>Achyrophorus maculatus</i> (L.) Scop.	—	—	4	—	—	—
320	<i>Bidens tripartita</i> L.	—	—	1	—	—	—
321	<i>Cacalia hastata</i> L.	—	—	3	—	—	—
322	<i>Carduus crispus</i> L.	17	31	5	2	4	—
323	<i>C. nutans</i> L.	12	27	8	—	—	3
324	<i>C. uncinatus</i> Bieb.	15	18	1	—	—	—
325	<i>Centaurea diffusa</i> Lam.	5	—	—	—	—	—
326	<i>C. pseudomaculosa</i> Dobrosz.	—	8	—	—	—	—
327	<i>C. ruthenica</i> Lam.	2	—	—	—	—	—
328	<i>C. scabiosa</i> L.	6	22	8	—	—	2
329	<i>C. sibirica</i> L.	2	—	—	—	—	—
330	<i>C. turgaica</i> Klok.	5	—	—	—	—	—
331	<i>Chamomilla suaveolens</i> (Purch.) Rydb.	—	—	13	—	—	1
332	<i>Ch. recutita</i> (L.) Rauschert.	2	2	5	1	—	—
333	<i>Cichorium inthybus</i> L.	8	23	3	1	2	—
334	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	36	51	52	6	1	4
335	<i>C. esculentum</i> (Siev.) C. A. Mey.	—	—	3	—	—	—
336	<i>C. heterophyllum</i> (L.) Hill.	—	—	5	—	—	—
337	<i>C. vulgare</i> (Savi) Ten.	—	10	—	—	—	—
338	<i>Crepis tectorum</i> L.	8	26	29	—	1	1
339	<i>Erigeron acris</i> L.	1	27	12	—	1	—
340	<i>E. canadensis</i> L.	2	21	6	—	—	—
341	<i>Hieracium caespiticola</i> Norrl.	—	—	1	—	—	—
342	<i>H. cymigerum</i> Rchb.	1	—	—	—	—	—
343	<i>H. cymosum</i> L.	—	1	—	—	—	—
344	<i>H. umbellatum</i> L.	—	9	13	—	—	—
345	<i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench.	3	—	—	—	—	—
346	<i>Inula aspera</i> Poir.	2	—	—	—	—	—
347	<i>I. britannica</i> L.	5	10	—	3	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
348	<i>I. helenium</i> L.	1	—	—	—	—	—
349	<i>I. hirta</i> L.	3	26	—	—	5	—
350	<i>Lactuca saligna</i> L.	—	3	—	—	—	—
351	<i>L. serriola</i> L.	—	10	—	—	—	—
352	<i>L. sibirica</i> (L.) Maxim.	—	—	5	—	—	—
353	<i>L. tatarica</i> (L.) C. A. Mey.	49	57	11	6	10	—
354	<i>Leontodon autumnalis</i> L.	2	4	23	1	—	—
355	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	—	2	31	—	—	2
356	<i>Matricaria perforata</i> Merat.	14	3	5	1	—	—
357	<i>Omalotheca sylvatica</i> (L.) Sch. Bip. et. Schultz.	4	—	—	—	—	—
358	<i>Onopordum acanthium</i> L.	—	8	3	—	—	—
359	<i>Picris hieracioides</i> L.	7	18	1	1	1	—
360	<i>Saussurea alpina</i> (L.) DC.	3	—	—	—	—	—
361	<i>S. amara</i> (L.) DC.	5	30	—	—	2	—
362	<i>Scorzonera stricta</i> Hornem.	9	—	—	—	—	—
363	<i>Senecio erucifolius</i> L.	2	1	—	—	—	—
364	<i>S. jacobaea</i> L.	7	2	—	—	—	—
365	<i>S. vulgaris</i> L.	2	9	8	—	1	—
366	<i>Solidago virgaurea</i> L.	—	1	26	—	—	—
367	<i>Sonchus arvensis</i> L.	8	44	13	2	7	1
368	<i>S. asper</i> (L.) Hill.	1	7	—	—	—	—
369	<i>S. oleraceus</i> L.	—	31	6	—	1	—
370	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	3	8	21	—	—	—
371	<i>Taraxacum bessarabicum</i> (Hornem.) Hand.-Mazz.	—	2	—	—	—	—
372	<i>T. erythrospermum</i> Andrz.	—	1	—	—	—	—
373	<i>T. officinale</i> Wigg.	24	65	62	2	8	1
374	<i>Tragopogon dubius</i> Scop.	5	7	—	—	—	—
375	<i>Tragopogon orientalis</i> L.	—	2	1	—	—	—
376	<i>Tripolium vulgare</i> Nees.	—	30	—	—	6	—
377	<i>Tussilago farfara</i> L.	17	65	79	5	20	12
378	<i>Xanthium strumarium</i> L.	—	1	—	—	—	—
Liliaceae							
379	<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt.	—	—	5	—	—	—
380	<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce	—	—	2	—	—	—
381	<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	—	—	2	—	—	—
Asparagaceae							
382	<i>Asparagus officinalis</i> L.	—	1	—	—	—	—
Orchidaceae							
383	<i>Coeloglossum viride</i> (L.) C. Hartm.	—	—	3	—	—	—
384	<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Rich. Soo	—	—	1	—	—	—
385	<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	—	—	2	—	—	—
Juncaceae							
386	<i>Juncus bufonius</i> L.	3	3	—	3	—	—
387	<i>J. gerardii</i> Loisel.	—	5	—	—	—	—
388	<i>Luzula multiflora</i> (Retz.) Lej.	—	1	—	—	—	—
Cyperaceae							
389	<i>Carex</i> L. sp.	—	—	6	—	—	—
390	<i>Carex vulpina</i> L.	1	—	—	—	—	—
391	<i>Scirpus lacustris</i> L.	—	4	—	—	—	—
Poaceae							
392	<i>Agropyrum cristatum</i> (L.)						

1	2	3	4	5	6	7	8
	Beauv.	6	—	—	—	—	—
393	<i>A. pectinatum</i> (Bieb.) Beauv.	—	10	—	—	3	2
394	<i>Agrostis canina</i> L.	—	7	3	—	1	—
395	<i>A. gigantea</i> Roth.	6	19	13	4	4	2
396	<i>A. tenuis</i> Sibth.	3	7	9	1	—	—
397	<i>Alopecurus geniculatus</i> L.	—	1	6	—	—	—
398	<i>A. pratensis</i> L.	1	5	5	—	—	—
399	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	1	—	—	—	—	—
400	<i>Apera spica — venti</i> (L.) Beauv.	—	6	1	—	1	—
401	<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub.	6	13	4	3	3	1
402	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.	15	73	34	11	50	12
403	<i>C. neglecta</i> (Ehrh.) Gaernt	—	—	11	—	—	2
404	<i>Dactylis glomerata</i> L.	—	1	12	—	—	1
405	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv.	1	6	50	—	—	7
406	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	—	4	—	—	—	—
407	<i>Elymus</i> sp.	—	1	—	—	—	—
408	<i>Elymus caninus</i> (L.) L.	—	4	5	—	—	2
409	<i>E. fibrosus</i> (Schrenk.) Tzvel.	—	19	14	—	5	1
410	<i>Elytrigia pruinifera</i> Nevski.	3	—	—	—	—	—
411	<i>E. repens</i> (L.) Nevski.	24	80	40	12	40	19
412	<i>E. trichophora</i> (Link.) Nevski.	3	—	—	—	—	—
413	<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) Beauv.	1	—	—	—	—	—
414	<i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill.	1	—	—	—	—	—
415	<i>F. ovina</i> L.	—	14	4	—	2	—
416	<i>F. pratensis</i> Huds.	2	8	16	—	1	6
417	<i>F. pseudovina</i> Hack. ex Wiesb.	6	3	—	2	1	—
418	<i>F. rubra</i> L.	—	15	52	—	1	25
419	<i>F. valesiaca</i> Gaudin ssp. <i>sulcata</i> (Hack.) Schinz et R. Keller	24	7	—	7	1	1
420	<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.	—	—	2	—	—	—
421	<i>Hordeum brachyantherum</i> Nevski.	2	34	3	—	2	2
422	<i>Koeleria cristata</i> (L.) Pers.	5	—	—	—	—	—
423	<i>Leymus ramosus</i> (Trin.) Tzvel.	13	—	—	8	—	—
424	<i>Melica nutans</i> L.	—	—	3	—	—	—
425	<i>Phleum phleoides</i> (L.) Karst.	2	2	1	—	—	—
426	<i>Ph. pratense</i> L.	1	5	9	—	—	1
427	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin ex Steud.	5	30	4	—	6	—
428	<i>Poa angustifolia</i> L.	19	5	3	—	1	—
429	<i>P. annua</i> L.	—	2	—	—	—	—
430	<i>Poa compressa</i> L.	—	—	2	—	—	—
431	<i>P. palustris</i> L.	—	—	11	—	—	1
432	<i>P. pratensis</i> L.	15	40	59	4	18	22
433	<i>P. sibirica</i> Roshev.	—	—	1	—	—	—
434	<i>P. stepposa</i> (Kryl.) Roshev.	3	—	—	—	—	—
435	<i>P. trivialis</i> L.	—	16	37	—	2	8
436	<i>Puccinellia distans</i> (Jacq.)						

1	2	3	4	5	6	7	8
	Parl.	11	35	17	4	11	3
437	<i>P. hauptiana</i> V. Krecz.	13	15	—	4	—	2
438	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	1	20	—	—	—	—
439	<i>Stipa</i> sp.	12	—	—	—	—	—
440	<i>Stipa capillata</i> L.	—	2	—	—	—	—
	Sparganiaceae						
441	<i>Sparganium erectum</i> L.	—	2	—	—	—	—
	Typhaceae						
442	<i>Typha angustifolia</i> L.	—	3	—	—	1	—
443	<i>T. latifolia</i> L.	1	5	—	—	1	—
444	<i>T. laxmannii</i> Lepech.	2	—	—	—	—	—

Научное издание

**Чибрик Тамара Семеновна
Елькин Юрий Анатольевич**

**ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОЦЕНОЗОВ
НА НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЛЯХ**

Редактор *С. Г. Галинова*
Художник обложки *А. В. Пятков*
Технический редактор *Т. М. Качула*
Корректор *Л. В. Голава*

ИБ № 428

Сдано в набор 24.11.89. Подписано в печать 05.12.90.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Гарнитура Литературная.
Усл.-печ. л. 12,8. Уч.-изд. л. 16,4. Усл. кр.-отт. 13,03.
Тираж 680 экз. Заказ 5886. Цена 2 р. 60 к.

Издательство Уральского университета.
620219, г. Свердловск, ГСП-830, пр. Ленина, 13-б.
Тип. Управления изд., полиграфии и книжной торговли
г. В. Пышма, ул. Кривоусова, 11.